



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

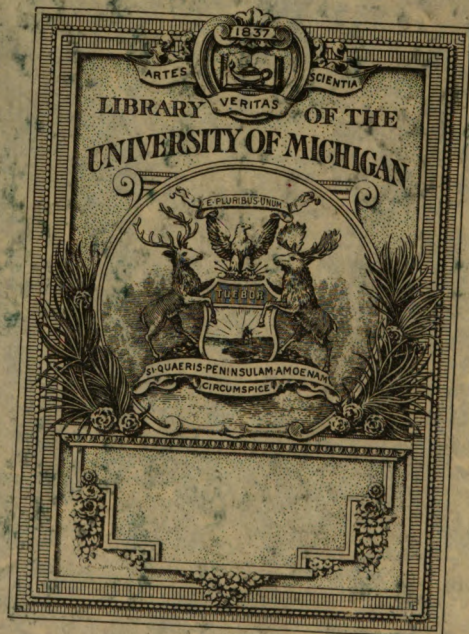
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

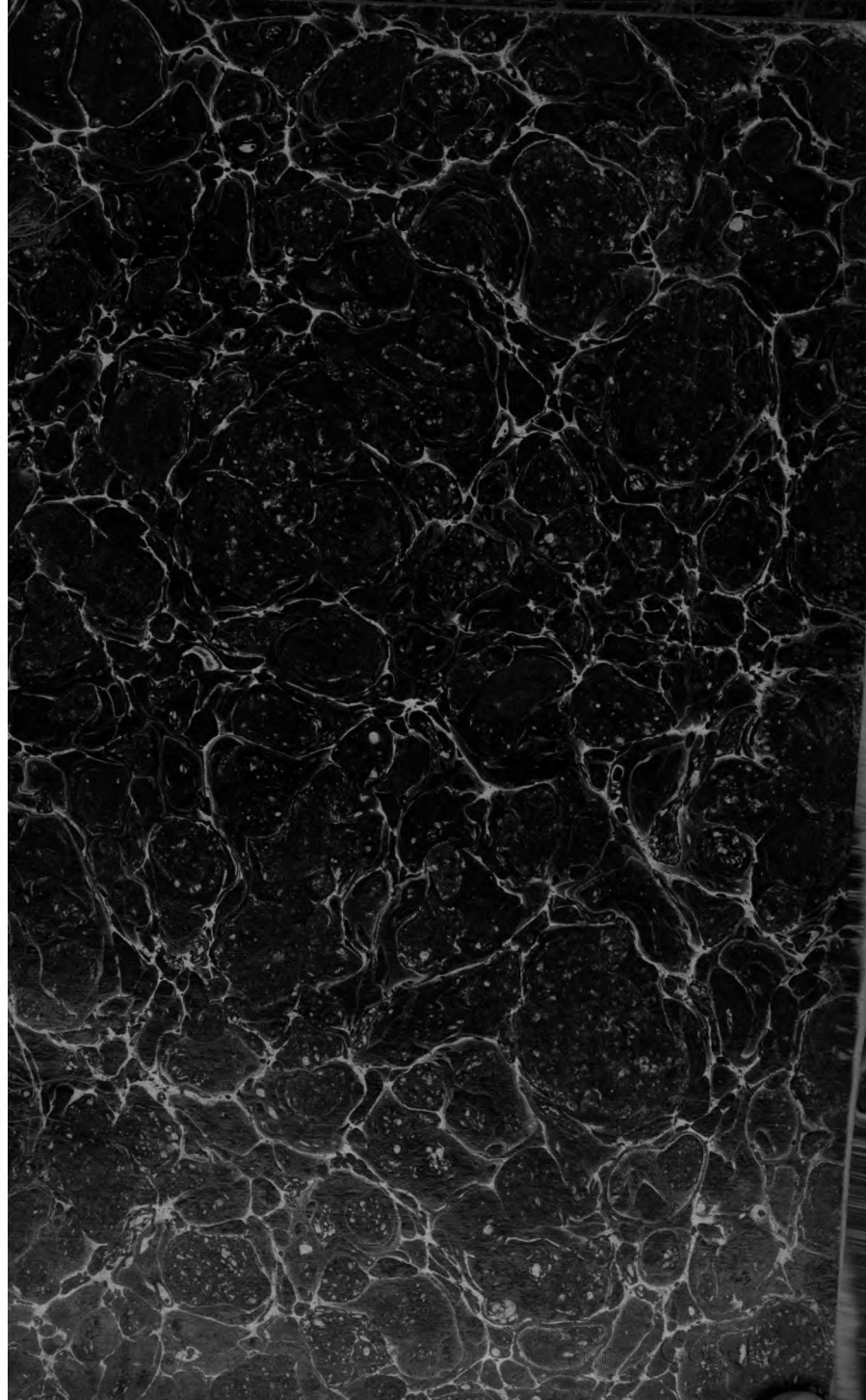
We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>





#16.7
QC
1
.A613

ANNALEN

DER

• PHYSIK UND CHEMIE.

B A N D CXXV.

ANNALEN
DER
P H Y S I K
UND
C H E M I E.

FÜNFTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

FÜNFTER BAND.

NEBST FÜNF FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1865.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.

Inhalt

des Bandes CXXV der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

	Seite
I. Ueber die Diffusion der Wärmestrahlen; zweite Abhandlung von H. Knoblauch	1
II. Beiträge zur Kenntniß des Stickstoffeisens; von C. Stahlschmidt	37
III. Bestätigung des elektrolytischen Gesetzes im Fall der Strom eine äußere Arbeit thut; von J. L. Soret	57
IV. Ueber den Stäfsfurtit; von A. Steinbeck	68
V. Ueber die Bestimmung der Kohlensäure im Leuchtgase; von F. Rüdorff	75
VI. Ueber mehrer Verbindungen des Fünffach-Chlorantimons; von Rud. Weber	78
VII. Ueber das Farbensehen und die Theorie der Mischfarben; von C. Bohn	87
VIII. Ueber die Veränderung der elektromotorischen Kräfte zwischen Metallen und Flüssigkeiten durch den Druck; von H. Wild .	119
IX. Ueber die Elektricitätsleitung in Elektrolyten, welche in Capil- larröhren eingeschlossen sind; von W. Beetz	126
X. Ueber das Verhalten der starren Isolatoren gegen Elektricität; von W. v. Bezold	132
XI. Ueber Erwärmung der Glaswand der Leydener Flasche durch die Ladung; von W. Siemens	137

XII. Die chemische Zusammensetzung der Feldspäthe; von G. Tschermak	139
XIII. Analyse eines Kupferwismutherzes aus Wittichen im badischen Schwarzwalde; von Hilger	144
XIV. Ueber das jodsaure Natron-Jodnatrium; von C. Rammelsberg	147
XV. Notiz über die Krystallform des essigsauren Uranoxyd-Natrons; von C. v. Hauer	149
XVI. Ueber eine neue Einrichtung der Quecksilber-Luftpumpe; von J. C. Poggendorff	151
XVII. Ueber Nebenringe am Newton'schen Farbenglase; von J. Stefan	160
XVIII. Einige Bemerkungen bezüglich der Polarisationsbatterie; von J. Thomsen	163
XIX. Beobachtungen über ein am 13. December 1863 in Hermannstadt stattgefundenes Gewitter ungewöhnlicher Art; von G. A. Kayser	165
XX. Ueber die Erscheinung der negativen Luft-Elektricität bei heiterem Himmel; von F. Dellmann	175
(Geschlossen am 26. Mai 1865.)	

Zweites Stück

I. Ueber die innere Reibung der Gase; von O. E. Meyer . . .	177
Erste Abhandlung: Ueber den Einfluß der Luft auf Pendelschwingungen.	
II. Untersuchungen über die geschwefelten Verbindungen des Urans; von A. Remelé (Zweite Abhandlung)	209
III. Ueber die Aggregatzustände der Verbindungen erster Ordnung; von P. Kremers	246
IV. Ueber die Fortpflanzung der Wärme; von J. Stefan . . .	257
V. Ueber die Vertheilung des Magnetismus in weichen prismatischen Eisenstäben, die an das Ende eines Magnetstabs angelegt sind; von G. Wehrich	276
VI. Ueber Temperatur-Erniedrigung bei der Absorption des Wassers durch feste poröse Körper; von C. G. Jungk	292

VII. Die schwarzen Linien und Ablösungen in den Meteoriten; vom Freiherrn v. Reichenbach	308
VIII. Ueber die Verbindungen des Selenachlors mit Chlormetallen; von Rud. Weber	325
IX. Neue photographisch-chemische Untersuchungen, die Lichtempfindlichkeit des Iodsilbers betreffend; von H. Vogel	329
X. Ein neuer akustischer Interferenz-Versuch; von F. Deneke	335
XI. Zur Theorie der Hagelbildung; von Th. Reye	341
XII. Distanzmesser ohne Standlinien und ohne Winkelmessung; von S. Mers	344
XIII. Das mechanische Aequivalent des Lichts; von J. Thomsen	348

(Geschlossen am 24. Juni 1865.)

Drittes Stück.

I. Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie; von R. Clausius	353
II. Ueber die innere Reibung der Gase; von O. E. Meyer (Fortsetzung)	401
III. Die schwarzen Linien und Ablösungen in den Meteoriten; vom Freiherrn v. Reichenbach (Fortsetzung)	420
IV. Beitrag zur Kenntniss des Miargyrits; von A. Weissbach	441
V. Ueber die Krystallform des Albits von dem Roc-tourné und von Bonhomme in Savoyen und des Albits im Allgemeinen; von G. Rose	457
VI. Ueber die Erzeugung einer eigenthümlichen Art von intensiven elektrischen Strömen mittelst eines Influenz-Elektromotors; von A. Töpler	469
VII. Ueber den specifischen Leitungswiderstand der Metalle, bezogen auf die von der British Association angenommene Widerstands-Einheit, nebst einigen Bemerkungen über die sogenannte Quecksilber-Einheit; von A. Matthiessen	497
VIII. Ueber zwei neue Formen des Heliotropen; von W. H. Miller	510

(Geschlossen am 1. August 1865.)

Viertes Stück.

	Seite
I. Ueber das Verwitterungs-Ellipsoïd wasserhaltiger Krystalle; von Carl Pape	513
II. Ueber die innere Reibung der Gase; von O. E. Meyer (Schluß)	564
III. Die schwarzen Linien und Ablosungen in den Meteoriten; vom Freiherrn v. Reichenbach	600
IV. Die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei der Wolkenbildung; von Th. Reye	618
V. Ueber einen Apparat, welcher einen abgeschlossenen Raum auf constanter Temperatur erhält; von F. Kohlrausch	626
VI. Ueber die Anwendung der Verbindungsspectren zur Entdeckung von Chlor, Brom und Iod in geringster Menge; von A. Mitscherlich	629
VII. Ueber eine Reihe von Verbindungen der Vitriole in bestimmten Äquivalentverhältnissen; von C. v. Hauer	635
VIII. Beitrag zur Erklärung der Windstöße; von Th. Reishaus .	640
IX. Statistik der Blitzschläge; von Boudin	644
X. Magnesiumlicht; von Troost	644

(*Geschlossen am 28. September 1865.*)

Nachweis zu den Figurentafeln.

Taf. I. — Rüdorff, Fig. 1, S. 75. — Poggendorff, Fig. 2, S. 154.

Taf. II. — O. E. Meyer, Fig. 1, S. 198; Fig. 2 u. 3, S. 202; Fig. 4, 5, 6 u. 7, S. 203; Fig. 8, 9 u. 10, S. 204; Fig. 11 u. 12, S. 205; Fig. 13, 14 u. 15, S. 206.

Taf. III. — Pape, Fig. 1 u. 2, S. 534; Fig. 3 u. 4, S. 548; Fig. 5, S. 555. — Weisbach, Fig. 6, 7 u. 8, S. 441; Fig. 9, S. 442; Fig. 10, S. 443; Fig. 11 bis 15, S. 444; Fig. 16, S. 454.

Taf. IV. — G. Rose, Fig. 1 u. 1*, S. 459; Fig. 2, S. 460; Fig. 3, S. 463; Fig. 4 u. 4* S. 463; Fig. 5 und 5* S. 464; Fig. 6 u. 7, S. 468; Fig. 8 u. 9, S. 464.

Taf. V. — Töpler, Fig. 1, S. 470; Fig. 2, S. 474 u. 477; Fig. 3, S. 494. — Kohlrausch, Fig. 4, S. 427. — Rutherford im nächsten Bande.

Berichtigungen.

Zu den Aufsätzen von A. Krönig, Band 123.

S. 300 Z. 8 v. o. lies: Absicht statt: Ansicht

S. 313 Z. 5 v. u. lies: $\frac{p_0}{g_0 v}$ statt: $\frac{p_0}{g_1 v}$

S. 313 Z. 3 v. u. lies: $\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}\right)$ statt: $\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_1}\right)$

S. 314 Z. 9 v. o. lies: 144.9 statt: 144,9

S. 322 Z. 16 v. u. lies: unzertrennbar verbunden, statt unzertrennbar.

S. 642 Z. 14 v. o. lies: in den Druck von 1 Atmosphäre übergeht, statt:
übergeht

S. 643 Z. 7 v. u. lies: die, statt: als die

Zum Aufsatz von H. VV. Schröder van der Kolk, Bd. 124.

S. 455 Z. 20 lies: Indessen war ich nicht von vornherein überzeugt, usw.

S. 459 Z. 3 lies:

$$s = \sqrt{\frac{gH\beta}{b}} \left\{ 1 + \frac{\gamma(\gamma+1)-2}{4\gamma} \cdot \frac{\Delta V}{V_0} \right\}$$

S. 460 Z. 7 lies:

$$s = \sqrt{\frac{gH\beta}{b}} \gamma \left\{ 1 + \frac{\gamma(\gamma+1)-2}{4\gamma} \cdot \frac{4V}{V_0} \frac{R^2}{\varrho^2} \right\}$$

S. 460 Z. 11 im Nenner lies:

$$4\gamma \text{ statt: } 4\sqrt{\gamma}$$

I. *Ueber die Diffusion der Wärmestrahlen;*
von H. Knoblauch.

Zweite Abhandlung.

Die unlängst in diesen Annalen, Bd. CXXIII, S. 148 erschienene Abhandlung des Hrn. Dr. Jungk zur Erklärung der Erscheinungen beim Durchgange der Wärmestrahlen durch rauhe und trübe diathermane Körper, welche durch die Güte des Hrn. Verfassers mir vor ihrer Veröffentlichung bekannt wurde, hat mir Anlaß gegeben, meine, im Bande CXX, S. 177 mitgetheilten Versuche über jenen Gegenstand in einzelnen Theilen zu erweitern; und hat Hr. Dr. Jungk zur Bestätigung der von ihm aufgestellten theoretischen Sätze bereits auf das Ergebniss einiger dieser neueren Beobachtungen sich berufen. Es ist jetzt meine Absicht, diese Versuche selbst mitzutheilen und denen, auf welche dort hingewiesen ist, einige andere hinzuzufügen, welche sich mir bei dieser Gelegenheit darbieten.

1. Bekanntlich gehen Strahlen desto weniger durch eine Platte hindurch, je rauher deren Oberfläche ist. Meine frühere Untersuchung hat ergeben, daß diese Verminderung des Durchgangs mit zunehmender Rauheit einer diathermanen Platte für Wärmestrahlen, welche von vielen Punkten nach allen Seiten hin ausgehen, weniger beträgt als für parallele Sonnenstrahlen¹⁾. Dies führt auf den Gedanken, daß die *Entfernung und Gröfse der Wärmequelle*, oder

1) Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 261.

Poggendorff's Annal. Bd. CXXV.

wenn ein von der Sonne beschienener, die Strahlen zerstreuer Schirm die Stelle derselben vertritt, der Abstand und die Größe dieses von bestimmendem *Einfluss auf jenen Durchgang der Wärme durch die ungleich rauhen Platten* sey.

Der directe Nachweis einer Abhängigkeit der Durchstrahlung durch ein- und zweiseitig matten Platten von der Entfernung der Wärmequelle ¹⁾ machte dies auch in dem vorliegenden Falle um so wahrscheinlicher; auch sprach der Umstand, daß bei einer früheren Beobachtung die Verschiebung eines ersten rauhen Schirms gegen einen zweiten und die Ausdehnung der bestrahlten Fläche des ersten die Durchstrahlung durch den letzteren, ein- oder zweiseitig matten, nicht merklich verändert hatten ²⁾, nicht dagegen, weil anderweitige Bedingungen diesen Versuch beschränkt hatten ³⁾.

Bei der Wahl der Wärmequelle zwischen Lampen, erhitzten Metallcylindern oder anderen unmittelbar ausstrahlenden Körpern einerseits und in den Gang der Sonnenstrahlen eingeschalteten diffundirenden Schirmen andererseits, entschied ich mich bald für die letzteren. Jene führen so viele Uebelstände durch die steigende und sich ungleichmäßig vertheilende Temperatur im Experimentirzimmer, die damit zusammenhängende Ungleichheit in der eigenen Wärme der Thermosäule und der vor ihr in wechselnden Entfernungen aufgestellten diathermanen Platten, die an den letzteren (Steinsalz ausgenommen) jenen Wärmequellen gegenüber stattfindende auswählende Absorption usw. herbei, daß man sie gern vermeidet. Die den Sonnenstrahlen ausgesetzten diffundirenden Schirme ersparen der Beobachtung nicht allein jene störenden Nebenwirkungen fast ganz, sondern gewähren ihr auch (wie sich im weiteren Verlaufe näher herausstellen wird) z. B. in der Unterscheidung verschiedener Diffusionsgrade der Wärme ver-

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 246 ff.

²⁾ Ebendasselbst S. 220, 221.

³⁾ Ebendasselbst S. 252.

breitenden Flächen Vortheile, welche bei den gewöhnlichen irdischen Wärmequellen zum Theil völlig ausgeschlossen sind.

Mit Lampen, erhitzten Metallcylindern, offenen Gasflammen verschiedener Form und Größe usw. habe ich mich daher nur so weit beschäftigt, um in Verbindung mit früheren Erfahrungen die Ueberzeugung zu gewinnen, daß mit ihnen kein Versuch anzustellen, welcher nicht in den mitzutheilenden enthalten war, bei denen die von der Sonne beschienenen und ihre Strahlen zerstreuenen Schirme die Stelle der Wärmequelle vertreten, und welche demnach als nicht minder allgemein zu betrachten sind.

Zu den zweiten diathermanen Schirmen schien sich aus bekannten Gründen Steinsalz zu empfehlen. Der Umstand indeß, daß diese Substanz unter dem Einfluß der Feuchtigkeit ihren Hauptvorzug, »athermochroisch« zu seyn, verlieren kann¹⁾ und somit ein und dasselbe Exemplar während eines längeren Zeitraums ein identisches Verhalten nicht sicher darbietet, es auch nicht immer möglich ist, sich Stücke von gewünschter Ausdehnung zu verschaffen, ließ mich Platten farblosen Glases von verschiedener Rauheit vorziehen; zumal auch bei diesem die einfallenden Strahlen so gewählt werden können, daß die, verschiedenartiger Wärme gegenüber vorhandene, auswählende Absorption seiner Masse sich nicht auf eine störende Weise geltend macht.

a) Zunächst wurden die von einem Heliostaten reflectirten, unter sich als parallel zu betrachtenden Sonnenstrahlen direct zur Thermosäule gelassen, welche durch einen vor ihr aufgestellten, in ihrer Höhe mit einer kreisrunden Oeffnung von 27 Millimetern Durchmesser versehenen, Metallschirm gegen Nebenstrahlen geschützt war, und so eine Ablenkung z. B. von 20 Graden an dem mit ihr verbundenen Multiplikator hervorgebracht. In den Gang dieser Strahlen schaltete ich der Reihe nach *farblöse Gläser*

1) Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 282.

von gleicher Masse ein, deren eines seine *polirten* Flächen behalten hatte, das andere auf *einer Seite fein matt*, ein drittes *matt* aber weniger fein, ein viertes auf einer Seite *rauh* geschliffen war, beobachtete den jedesmaligen Rückgang der Galvanometernadel und ermittelte daraus in bekannter Weise¹⁾ die Wärmemenge, welche von der auf ein Glas auffallenden durch dasselbe hindurchging. Sodann verschaffte ich mir Strahlen, welche, wie bei einer nahen irdischen Wärmequelle, von vielen Punkten sich ausbreiteten, indem ich ein *Milchglas*, dasselbe, welches in der vorigen Abhandlung²⁾ mit I bezeichnet worden ist, von den Sonnenstrahlen bescheinen liess. Wieder wurde durch diese divergenten Strahlen eine Abweichung am Thermomultiplicator von 20° bewirkt³⁾ und die Glasschirme an der nämlichen Stelle wie vorher nach einander vor der Thermosäule aufgestellt.

Um die *Einflüsse der Entfernung und der Grösse einer und derselben Wärmequelle*, um deren Ermittlung es sich handelte, von einander zu trennen, wurde zuerst, bei constanter beschienener Fläche des Milchglases, der Abstand desselben von der Thermosäule gewechselt; darauf dieser unverändert gelassen und dem bestrahlten Felde eine verschiedene Ausdehnung gegeben. Schliesslich wurde zur Steigerung der Wirkung das Milchglas sowohl näher gerückt, als seine strahlende Fläche erweitert; überdiess der Metallschirm mit runder Oeffnung entfernt, damit alle Strahlen sich geltend machen könnten. Jene, vor dem Einschalten der Gläser bei beliebiger Annäherung oder Vergrößerung der Wärmequelle constante Ablenkung am Multiplicator wurde durch einen, in dem stromleitenden Draht angebrachten Reostat erreicht; die wechselnde Grösse der beschienenen Fläche durch einen Spalt mit Mikrometerschraube, durch welchen die Sonnenstrahlen hindurchgehen mussten, bestimmt.

1) Pogg. Ann. Bd. LXXXV, S. 170; Bd. XCIII, S. 165, 166.

2) Ebendasselbst Bd. CXX, S. 201 ff.

3) Ebendasselbst Bd. CI, S. 186.

Die folgende Tabelle stellt die Wärmeeinheiten dar, welche unter den geschilderten Umständen durch die Gläser hindurchstrahlten, sofern die zu ihnen gelangende Menge mit 100 bezeichnet wird.

		Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den				
Gläser.	directen	aus dem <i>Milchglase I</i> bei				
		33 ^{mm} Höhe, 7 ^{mm} Breite, 70 ^{cm} 15 ^{cm} Entfernung,		34 ^{cm} Entfernung, 34 ^{mm} 55 ^{mm} Höhe, Höhe. 10 ^{mm} 50 ^{mm} Breite, Breite,		14 ^{cm} Ent- fernung, 55 ^{mm} Höhe, 60 ^{mm} Breite,
		austretenden Sonnenstrahlen.				
klar.	100 : 76	76	76	76,0	76	76
einseitig fein matt.	100 : 64	66	66	66,0	70	73
einseitig matt.	100 : 39	42	44	43,0	46	55
einseitig rauh.	100 : 29	32	34	33,5	39	54

Aus dem Verhalten der directen und der vom Milchglase austretenden Sonnenstrahlen gegen das klare Glas ergiebt sich, daß beide in gleichem Grade fähig waren, die Masse desselben zu durchdringen. Treten also bei den matten und rauen Platten Unterschiede auf, so ist dies nur dem Einfluß der veränderten Oberfläche zuzuschreiben. Eben dies erkennen zu können, ist immer das klare Glas mit polirter Oberfläche den übrigen hinzugefügt worden.

Die Unterschiede, auf welche es hier ankommt, treten zum Theil noch deutlicher bei einer Reduction hervor, in welcher die für die directen parallelen Sonnenstrahlen gefundenen Werthe gleich 100 gesetzt worden sind.

Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den						
Gläser.	directen	aus dem Milchglase I bei				
		33mm Höhe, 7mm Breite, 70cm 15cm Entfernung,	34cm Entfernung, 34mm 55mm Höhe, Höhe, 10mm 50mm Breite, Breite,		14cm Ent- fernung, 55mm Höhe, 60mm Breite,	
		austretenden				
		Sonnenstrahlen.				
klar.	100	100	100	100	100	100
einseitig fein matt.	100	103	103	103	109	114
einseitig matt.	100	108	113	110	118	141
einseitig rauh.	100	110	117	116	134	186

Es geht aus diesen und den vorigen Zahlen unverkennbar hervor, daß die Annäherung wie die Vergrößerung eines von der Sonne beschienenen diffundirenden Schirms einen verhältnißmäßig reichlicheren Durchgang der Wärmestrahlen durch matte diathermane Körper bedingt und zwar um so mehr, je rauher die Oberfläche der durchstrahlten Platte ist; womit es zusammenhängt, daß die Verminderung des Durchlasses, welche die zunehmende Rauheit einer Platte bewirkt, desto geringer, je näher und ausgedehnter der erste diffundirende Schirm ist¹⁾.

Unter übrigens gleichen Umständen hat auch die Beschaffenheit dieses ersten Schirms an der besprochenen Erscheinung wesentlichen Antheil. Ein in der ersten Abhandlung mit II bezeichnetes Milchglas²⁾ unterschied sich, einer besonderen Ermittlung zufolge³⁾, von dem vorigen No. I dadurch, daß es weniger diffundirend wirkt als dieses. Wurden beide nach einander als erste Schirme in wech-

1) Vergl. Dr. Jungk's Abhandlung, Pogg. Ann. Bd. CXXIII, S. 155.

2) Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 201 ff.

3) Ebendasselbst S. 202 bis 204, (208, 209).

selnder Entfernung: 24^{cm} und 8^{cm} von der Säule, und Gröfse: 27^{mm} Höhe, 27^{mm} Breite und 35^{mm} Höhe, 68^{mm} Breite angewandt, so wurden von Glasplatten, deren Oberflächen ebenfalls grofse Unterschiede darboten, die nachstehenden Mengen hindurchgelassen, wenn, wie in dem vorigen Falle, die zu ihnen gelangende Wärme jedesmal gleich 100 angenommen wird.

Gläser.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Ein- schalten der Gläser zur Thermo- säule gelangten, bei den					Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den				
	aus dem <i>Milchglase</i>					aus dem <i>Milchglase</i>				
	di- rek- ten	No. II		No. I		di- rek- ten	No. II		No. I	
		fern und klein,	nah und groß,	fern und klein,	nah und groß,		fern und klein,	nah und groß,	fern und klein,	nah und groß,
		austretenden Sonnenstrahlen.					austretenden Sonnenstrahlen.			
klar.	100 : 72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	100	100	100	100	100
einseitig sehr fein matt.	100 : 59,8	65,5	66,4	65,5	67,3	100	110	111	110	113
zweiseitig grob rauh.	100 : 34,5	41,6	46,9	42,5	52,2	100	121	136	123	151

Aus dem Vergleich der den beiden *Milchgläsern* zugehörigen Werthe erhellt, dafs bei gleicher Annäherung und gleicher Vergrößerung das diffundirendere (No. I) den Wärmedurchgang durch die matten diathermanen Platten mehr steigert, als das minder zerstreuernde (No. II).

Wurden an erster Stelle: das *Milchglas II* und geöltes Papier und an zweiter: zweiseitig mattes und zweiseitig rauhes Glas gewählt, so ergaben sich für 25^{cm} Abstand, bei 27^{mm} Höhe, 27^{mm} Breite und 8^{cm} Entfernung, bei 35^{mm} Höhe, 65^{mm} Breite jener als Wärmequellen dienender Schirme folgende Durchstrahlungen durch die zweiten:

Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Ein- schalten der Gläser zur Thermo- säule gelangten, bei den						Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den					
Gläser.	di- rec- ten	aus dem				di- rec- ten	aus dem				
		<i>Milchglase</i>		<i>geölten</i>			<i>Milchglase</i>		<i>geölten</i>		
		No. II		<i>Papier</i>			No. II		<i>Papier</i>		
		fern und klein,	nah und groß,	fern und klein,	nah und groß,		fern und klein,	nah und groß,	fern und klein,	nah und groß,	
		austretenden Sonnenstrahlen.					austretenden Sonnenstrahlen.				
klar.	100 : 71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	100	100	100	100	100	
zweiseitig matt.	100 : 44,5	47,5	51,0	50,0	53,5	100	107	115	112	120	
zweiseitig rauh.	100 : 36,5	40,0	46,5	41,0	48,0	100	110	127	112	132	

Nach dieser Bestätigung unterliegt es nicht dem geringsten Zweifel, daß *ganz allgemein die Verminderung der Entfernung wie die Vermehrung der Oberfläche einer Wärmequelle die Durchstrahlung durch rauhe diathermane Körper, bei gleicher zu ihrer Vorderfläche gelangender Wärme, begünstigt und daß der, diese Durchstrahlung beeinträchtigende Einfluß zunehmender Rauheit desto weniger sich geltend macht, je näher und größer die Wärmequelle¹⁾*. Eine *Steigerung des Zerstreungsvermögens vertritt bei einer diffundirenden Fläche die Stelle der Annäherung²⁾*.

b) Werden die Sonnenstrahlen, anstatt von einem diathermanen diffundirenden Schirm hindurchgelassen, von einem adiathermanen zurückgeworfen, so würden die entsprechenden Fragen sich auf *Abstand und Ausdehnung der diffus reflectirenden Fläche* beziehen. Den Vergleich mit den parallelen Strahlen erhält man alsdann am besten, wenn man die von einer polirten Oberfläche zurückgeworfenen

1) Vergl. Dr. Jungk's Abhandlung, Pogg. Ann. Bd. CXXIII, S. 153.

2) Eine milchige Bedeckung des Himmels würde für die Durchstrahlungserscheinungen die Wirkung eines Näherrückens der Sonne haben.

untersucht, in welchem Falle die Anordnung der Apparate unverändert bleibt und daher sichrere Resultate liefert als die, eine Umstellung derselben bedingende, Beobachtung der directen, d. h. der vom Heliostaten in das finstere Zimmer eintretenden Sonnenstrahlen.

Zunächst wurde die Größe einer beschienenen rauhen Goldfläche constant gelassen und nur die Entfernung derselben von der Thermosäule geändert ¹⁾. Es zeigten sich alsdann folgende, auf eine gleiche einfallende Wärmemenge bezogene Durchgänge durch klares, *einseitig mattes* und *einseitig rauhes Glas*, welches letztere jedoch dünner und von hellerer Glassorte war, als das andere:

Gläser.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Ein- schalten der Gläser zur Thermo- säule gelangten, nach der Reflexion von <i>Gold</i> bei				Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, nach der Reflexion von <i>Gold</i> bei			
	polirter	rauh. Oberfläche, 50 ^{mm} Höhe, 45 ^{mm} Breite 45 ^{cm} 15 ^{cm} 10 ^{cm} Entfernung.			polirter	rauh. Oberfläche, 50 ^{mm} Höhe, 45 ^{mm} Breite, 45 ^{cm} 15 ^{cm} 10 ^{cm} Entfernung.		
klar.	100 : 74	74	74	74	100	100	100	100
einseitig matt.	100 : 50	56	65	69	100	112	130	138
einseitig rauh.	100 : 56	65	79	87	100	116	141	155

Bei gleichbleibender Entfernung und wechselnder Größe der reflectirenden Fläche ergab sich für *einseitig mattes* und *zweiseitig rauhes Glas* von gleicher Dicke und Masse:

- 1) Gemessen wurde der Abstand der Mitte des von der Sonne bestrahlten Feldes bis zur Vorderfläche der Thermosäule.

Gläser.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Ein- schalten der Gläser zur Ther- mosäule gelangten, nach der Reflexion von Gold bei			Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durch- strahlen, nach der Reflexion von Gold bei		
	polirter	rauh. Oberfläche, 12 ^{cm} Entfernung,		polirter	rauh. Oberfläche, 12 ^{cm} Entfernung,	
		33 ^{mm} Höhe, 12 ^{mm} Breite.	33 ^{mm} Höhe, 70 ^{mm} Breite.		33 ^{mm} Höhe, 12 ^{mm} Breite.	33 ^{mm} Höhe, 70 ^{mm} Breite.
klar.	100 : 74	74	74	100	100	100
einseitig matt.	100 : 56	58	64	100	104	114
zweiseitig rauh.	100 : 32	42	49	100	131	153

Wurden *gleichzeitig* der *Abstand* und die *Ausdehnung* des zurückstrahlenden Feldes in sich unterstützender Weise geändert, so gingen durch die nämlichen *rauh. Gläser* die nachstehenden *Wärmeantheile* hindurch.

Gläser.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Ein- schalten der Gläser zur Ther- mosäule gelangten, nach der Reflexion von Gold bei			Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durch- strahlen, nach der Reflexion von Gold bei		
	polirter	rauh. Oberfläche, 45 ^{cm} 10 ^{cm} Entfernung,		polirter	rauh. Oberfläche, 45 ^{cm} 10 ^{cm} Entfernung,	
		33 ^{mm} Höhe, 35 ^{mm} Breite	33 ^{mm} Höhe, 70 ^{mm} Breite.		33 ^{mm} Höhe, 35 ^{mm} Breite.	33 ^{mm} Höhe, 70 ^{mm} Breite.
klar.	100 : 74,0	74,0	74	100	100	100
einseitig matt.	100 : 49,5	62,5	64	100	126	129
zweiseitig rauh.	100 : 23,5	40,5	43	100	172	183

Aus diesen Resultaten ist unmittelbar ersichtlich, wie *das Nähern und Vergrößern der diffus reflectirenden Fläche, ohne Einfluß auf die Durchstrahlung der klaren Platte, eine*

*Steigerung des Wärmedurchgangs durch die rauhen diathermanen Schirme zur Folge hat*¹⁾ und wie diese Steigerung mit der Rauheit der letzteren zunimmt.

2. In einer früheren Untersuchung²⁾ ist der Einfluss ermittelt worden, welchen bei verschiedenen rauhen diathermanen Schirmen die *Neigung* derselben auf den Grad der Zerstreuung der durch sie hindurchgehenden Strahlen ausübt und hat sich bei dieser Gelegenheit, als die Durchstrahlung der Wärme durch eine zweite rauhe Platte der Beantwortung jener Frage zu Grunde gelegt wurde, gezeigt, daß eine *Verkleinerung des Winkels, welchen der Schirm mit den parallelen Sonnenstrahlen bildet*, wenn die Neigung überhaupt einen Einfluss hat, stets den *Durchgang der Strahlen durch die zweite rauhe Platte verbessert*.

Verfolgt man diesen Vorgang, namentlich von dem Gesichtspunkte der sinnreichen Erklärungsweise des Hrn. Dr. Jungk weiter, so bietet sich die Frage dar, ob jene *Verbesserung ein Maximum erreicht* und ob der *Winkel*, bei dem dasselbe auftritt, in nachweisbarem *Zusammenhange mit der Rauheit des geneigten Schirmes* steht.

Die Versuche wurden mit *polirtem* und vier einseitig rauhen *Gläsern*, von denen das eine *sehr fein matt*, das andere *weniger fein*, das dritte gewöhnlich *matt*, das vierte *rauh geschliffen* war, als ersten und *klarem, einseitig mattem* und *zweiseitig mattem Glase* als zweiten Schirmen angestellt. Geht man in allmählichem Uebergange durch wenig von einander abstehende Neigungswinkel hindurch, so lassen sich nicht alle Beobachtungen an einem Tage beenden und sind daher häufige Wiederholungen zur Zusammenstellung einer Reihe mit der andern erforderlich. Aus allen diesen Ergebnissen sind in der folgenden Tafel diejenigen hervorgehoben, welche für die vorliegende Aufgabe als charakteristisch und theils durch unmittelbaren Anschluss der Beobachtungen, theils durch Reduction der gefundenen Werthe auf einander als vergleichbar erscheinen.

1) Vergl. Dr. Jungk's Abhandlung, Pogg. Ann. Bd. CXXIII, S. 155.

2) Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 264 bis 267.

Gläser.	Verhältnis der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus austretenden Sonnenstrahlen.						Verhältnis der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den aus austretenden Sonnenstrahlen.					
	klarem		<i>sehr fein matten</i> Glase unter				klarem	<i>sehr fein matten</i> Glase unter				
	90°	100	90°	50°	30°	10°	90°	100	90°	50°	30°	10°
klar.	100 : 73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	100	100	100	100	100	100
einseitig matt.	100 : 37,5	50,0	52,5	53,0	54,0	54,0	100	133	140	141	144	144
zweiseitig matt.	100 : 24,5	33,5	38,3	39,0	41,0	41,0	100	137	156	159	167	167

Gläser.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus						Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den aus					
	klar		fein matten Glase unter				klar	fein matten Glase unter				
	90°	100	90°	50°	30°	10°		90°	100	50°	30°	10°
	austretenden Sonnenstrahlen.						austretenden Sonnenstrahlen.					
klar.	100 : 73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	100	100	100	100	100	100
einseitig matt.	100 : 37,5	54,0	55,0	56,0	56,0	56,0	100	144	147	149	149	149
zweiseitig matt.	100 : 24,5	39,0	41,5	42,5	42,5	42,5	100	159	169	173	173	173

Gläser.	Verhältnis der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus					Verhältnis der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den aus				
	mattem Glase unter					mattem Glase unter				
	klarem	90°	80°	40°	30°	klarem	90°	80°	40°	30°
klar.		100 : 73,5	73,5	73,5	73,5		100	100	100	100
einseitig matt.		100 : 37,5	56,0	56,0	56,0		100	149	149	149
zweiseitig matt.		100 : 24,5	46,0	46,0	46,0		100	188	188	188

Gläser.	Verhältnis der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den aus					Verhältnis der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den aus				
	rauhem Glase unter					rauhem Glase unter				
	klarem	90°	70°	50°	30°	klarem	90°	70°	50°	30°
klar.		100 : 73,5	73,5	73,5	73,5		100	100	100	100
einseitig matt.		100 : 37,5	57,5	57,5	57,5		100	153	153	153
zweiseitig matt.		100 : 24,5	49,0	49,0	49,0		100	200	200	200

Hiernach setzt sich die Steigerung der Durchstrahlung durch das einseitig und das zweiseitig-matte Glas, bei stets gleicher zu ihnen gelangender Wärmemenge, unter Anwendung des sehr fein matten Glases so weit fort, als die Beobachtung reicht und bei 10° Neigung desselben gegen die einfallenden Sonnenstrahlen ist sie noch nicht in ihr Maximum getreten, für das weniger fein matte findet bei einer Verkleinerung dieses Winkels unter 30° keine weitere Erhöhung des Durchgangs statt, bei dem gewöhnlich matten und rauhen Glase ist das Maximum bei 90° bereits erreicht.

Beim Neigen einer, zuerst senkrecht gegen die Wärmestrahlen gerichteten, rauhen diathermanen Platte ist demnach der Winkel, welchen die letztere mit den Strahlen in dem Augenblick einschließt, da das Maximum der Durchstrahlung durch einen zweiten rauhen Schirm eintritt, desto kleiner, je geringer die Rauheit der ersten Platte ist. Der absolute Werth jenes Maximums nimmt bei einseitig rauhen Platten mit der Rauheit derselben zu¹⁾.

3. Schaltet man zwei matte Flächen in den Gang der Wärmestrahlen ein, so entsteht die Frage, wie ihr wechselseitiger Abstand auf die Durchstrahlungsverhältnisse einwirkt. Es sind hier drei Fälle zu unterscheiden, indem entweder die der Säule oder die der Wärmequelle zunächst befindliche Fläche ihre Stelle behalten und die andere verschoben werden kann, oder indem beide der Art gerückt werden, daß nur die Mitte zwischen ihnen einen unveränderten Ort behauptet. Zwei identische Glasplatten wurden auf einer Seite auf gleiche Weise matt geschliffen und zwischen dem, die Menge der Sonnenstrahlen regelnden, Spalt und der Thermosäule so eingeschaltet, daß ihre Entfernung von einander der Reihe nach 10, 110 und 210^{mm} betrug. Die Beobachtung erfordert die äußerste Vorsicht, indem z. B. die eigene Wärme der Schirme bei deren wechselndem Abstände von der Säule in ungleicher Weise sich geltend macht und, zur Ermittlung der hindurchgestrahlten, in möglichster Genauigkeit von der Gesamtwirkung

1) Vergl. Dr. Jungk's Abhandlung, Pogg. Ann. Bd. CXXIII, S. 156.

in Abzug zu bringen ist. Jede Versäumnis führt unfehlbar zu Irrthümern und bedurfte ich einer längeren Versuchsreihe, um mir hinreichende Sicherheit zu verschaffen. Die Durchgänge durch beide Platten sind wieder auf eine gleich 100 gesetzte, zur ersten gelangende Wärmemenge bezogen worden.

Zwei matte Glasflächen, von einander entfernt	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, wenn von den matten Flächen			Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, wenn von den matten Flächen		
	die auf Seiten der Thermosäule befindliche	die Mitte	die auf Seiten der Wärmequelle befindliche	die auf Seiten der Thermosäule befindliche	die Mitte	die auf Seiten der Wärmequelle befindliche
	unverrückt gelassen wird,			unverrückt gelassen wird.		
10mm	100 : 25,0	6,5	1,76	385	100	27
110mm	100 : 12,0	6,5	3,10	185	100	48
210mm	100 : 6,5	6,5	6,50	100	100	100

Das Entfernen zweier diathermaner matter Flächen von einander bewirkt also eine Verminderung der Durchstrahlung, wenn bei constantem Abstände der einen, die andere von der Thermosäule abgerückt wird¹⁾; dasselbe übt keinen Einfluss, wenn dabei die eine um ebenso viel genähert, wie die andere entfernt wird; es hat endlich eine Erhöhung des Wärmedurchlasses zur Folge, wenn diese unverändert stehen bleibt, während jene der Thermosäule näher rückt.

Dals die matten Flächen in der That als gleichartig zu betrachten waren, geht daraus hervor, dals ein Vertauschen der beiden Glasplatten (deren raue Seiten stets von einander abgewandt waren) keine Aenderung in der Angabe des Thermoskops herbeiführte. Wurden sie einzeln an verschiedenen Stellen der Bahn eingeschaltet, so erhielt man bei demselben Abstände von der Säule für jeden Schirm stets die nämliche (im Vergleich mit der vorigen erhöhte) Durchstrahlung der Wärme.

1) Vergl. Dr. Jungk's Abhandlung, Pogg. Ann. Bd. CXXIII, S. 152.

Die Constanz der Wirkung bei unveränderter Mitte der von einander sich entfernenden Gläser wurde auch dadurch im Einzelnen erläutert, daß, bei feststehendem einem Glase, das Weiterrücken des andern den Durchgang in demselben Verhältniß verminderte, wie, bei ungeänderter Stellung des letzteren, das entsprechende Annähern des ersten ihn vermehrte. Innerhalb der Gränzen der angeordneten Versuche wenigstens war kein über die Beobachtungsfehler hinausgehender Unterschied festzustellen¹⁾.

Gegenversuche, welche zur Controle der Abwesenheit aller störenden Nebenwirkungen mit *zwei klaren farblosen Glasplatten* angestellt wurden, bestätigten die Erwartung, daß ihr *wechselseitiger Abstand ohne allen Einfluß auf die durch sie hindurchgehende Wärmemenge* war.

Es war von Interesse, den obigen Vorgang wie bei parallelen, so auch bei *zerstreuten Wärmestrahlen* kennen zu lernen. Diese Zerstreuung wurde durch das *Milchglas No. I* bewirkt, nach dessen Durchstrahlung die Wärme dieselbe Ablenkung am Thermomultiplicator hervorbrachte, wie vorher durch die parallelen Sonnenstrahlen, ehe die beiden einseitig matten Glasplatten an den nämlichen Stellen wie zuvor eingeschaltet wurden. Die Beobachtung ergab:

Zwei matte Glas- flächen, von ein- ander entfernt:	Verhältniß der Wärmemengen, welche aus dem <i>Milchglase I</i> austretend vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, wenn von den matten Flächen			Verhältniß der Wärmemengen, welche aus dem <i>Milchglase I</i> austretend die Gläser durch- strahlen, wenn von den matten Flächen		
	die auf Seiten der Thermo- säule be- findliche	die Mitte	die auf Seiten der Wärme- quelle be- findliche	die auf Seiten der Thermo- säule be- findliche	die Mitte	die auf Seiten der Wärme- quelle be- findliche
	unverrückt gelassen wird.			unverrückt gelassen wird.		
10 ^{mm}	100 : 37,5	19,5	10,0	192	100	51
110 ^{mm}	100 : 23,0	19,5	12,5	118	100	64
210 ^{mm}	100 : 19,5	19,5	19,5	100	100	100

1) Daß eine solche Compensation bei feststehender Mitte streng genommen ganz allgemein sich vollziehen sollte, ist nicht anzunehmen.

Es erhellt hieraus 1) *dass sämtliche entsprechende Durchgänge der von vielen Punkten aus zerstreuten Wärmestrahlen durch die nämlichen beiden matten Schirme reichlicher sind als die der parallelen*; 2) *dass die mit zunehmendem Abstände der matten Flächen in der ersten Gruppe auftretende Verminderung, wie die in der letzten wahrgenommene Steigerung weniger beträgt als bei den directen Sonnenstrahlen.*

Dort liegen die Werthe zwischen 1,76 und 25, hier zwischen 10 und 37,5; dort ändern sie sich in der ersten und letzten Rubrik in dem Verhältniß von etwa 4 : 1, hier von 2 : 1.

Werden die *Entfernung und Gröfse der Wärmequelle* (z. B. des ihre Stelle vertretenden diffundirenden Milchglases) einzeln oder beide gleichzeitig geändert, so zeigen sich beim *Annähern* wie beim *Vergrößern derselben Uebergänge, welche ganz denen entsprechen, die so eben bei dem Vergleich der parallelen und der zerstreuten Wärmestrahlen sich herausgestellt haben.*

4. Treten an Stelle der zwei gleichen, *zwei ungleiche matte Flächen*, so gestalten sich die Verhältnisse viel mannigfaltiger. Ich combinirte zunächst zwei *Gläser*, deren eines auf einer Seite *fein matt*, das andere, wie die vorigen, gewöhnlich *matt* geschliffen war, schaltete sie, in denselben Abständen wie zuvor, in den Gang der directen Sonnenstrahlen ein und vertauschte sie sodann mit einander. Darauf verband ich in gleicher Weise das *fein matt* geschliffene mit einem einseitig *rauen* und liefs auch diese ihre Stellen wechseln. Die Ergebnisse waren:

Zwei ungleich matte Glasflächen, von einander entfernt	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser aus Thermosäule gelangten, die Gläser durchstrahlen, sofern von den matten Flächen					
	die auf Seiten der Thermosäule befindliche	die Mitte	die auf Seiten der Wärmesäule befindliche	die auf Seiten der Thermosäule befindliche	die Mitte	die auf Seiten der Wärmesäule befindliche
	unverrückt gelassen wird,					
	wenn die <i>fein matte Fläche der Säule, die matte der Wärmequelle</i> zunächst stand:					
10mm	100 : 34,9	11,3	5,7	529	171	86
110mm	100 : 12,3	9,4	6,0	186	142	91
210mm	100 : 6,6	6,6	6,6	100	100	100
wenn die <i>matte Fläche der Säule, die fein matte der Wärmequelle</i> zunächst stand:						
10mm	100 : 39,6	12,1	6,0	190	58	29
110mm	100 : 28,3	16,0	9,8	136	77	47
210mm	100 : 20,8	20,8	20,8	100	100	100
wenn die <i>fein matte Fläche der Säule, die rauhe der Wärmequelle</i> zunächst stand:						
10mm	100 : 28,3	7,5	2,8	745	197	74
110mm	100 : 9,4	5,7	3,2	247	150	84
210mm	100 : 3,8	3,8	3,8	100	100	100
wenn die <i>rauhe Fläche der Säule, die fein matte der Wärmequelle</i> zunächst stand:						
10mm	100 : 36,8	8,5	3,2	195	45	17
110mm	100 : 26,4	11,7	6,8	140	62	36
210mm	100 : 18,9	18,9	18,9	100	100	100

1) Innerhalb jeder dieser Gruppen führt, wie vorher bei den gleichartig matten Schirmen, das *Entfernen der zweiten von der feststehenden ersten rauhen Fläche eine Verminderung*, das, mit einer Annäherung an das Thermoskop verbundene, *Entfernen der ersten von der feststehenden zweiten eine Vermehrung des Wärmedurchgangs* herbei. Das *Festhalten der Mitte* beim Auseinanderrücken der beiden

verschiedenen Platten hat; aber, wie vorhergesehen, nicht, wie dort, einen constanten, sondern bald einen geringeren, bald einen gröfseren Durchlaß zur Folge, je nachdem dabei die weniger matte Fläche der Säule zu- und die rauhere abgerückt wird oder umgekehrt.

2) Beim Vertauschen der ungleich matten Schirme findet in sämtlichen einander entsprechenden Fällen eine reichlichere Durchstrahlung durch beide statt, wenn der rauhere der Säule zunächst steht.

3) In einer und derselben Versuchsreihe entsprechen sich die Verminderung und Vermehrung nicht. Gleichwertige Ab- und Zunahmen sind jetzt in verschiedenen Gruppen zu erwarten, z. B. in der ersten Rubrik der ersten und in der dritten der zweiten Gruppe, in der dritten Rubrik der ersten und in der ersten der zweiten Gruppe oder in der ersten Columne der dritten und der dritten der vierten Gruppe, in der dritten Columne der dritten und der ersten der vierten Gruppe, wie sie dem Entfernen und Annähern eines und desselben Schirmes zugehören.

4) Die geringsten Unterschiede treten in den Fällen auf, in denen der weniger matte Schirm, die größten, in denen die rauhere Platte gerückt wird.

5) Die Verbindung der fein matten und der matten Fläche ist in vergleichbaren Stellungen voraussichtlich durchweg diathermaner als die der fein matten und rauhen; aber die gedachten Feringungen und Steigerungen sind bei diesen unter sich verschiedenartigeren bedeutender, als bei jenen. Die reducirten Werthe, denen die bei 210^{mm} Abstand beider Platten beobachtete Durchstrahlung als 100 zu Grunde gelegt worden ist, lassen die betreffenden Verhältnisse um so leichter überblicken.

Mit diesen Erscheinungen bei parallel einfallenden, directen Sonnenstrahlen wurden wieder die verglichen, welche bei, durch das Milchglas I zerstreuten sich darbieten. Hier führten die Versuche, unter übrigens gleichen Umständen, zu Folgendem:

Verhältniß der Wärmemengen, welche aus dem *Mischgasse I* austretend

Zwei ungleich matte Glasflächen, von einander entfernt

vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten,

die Gläser durchstrahlen,

sofern von den matten Flächen

die auf Seiten der Thermosäule befindliche

die Mitte

die auf Seiten der Wärmequelle befindliche

die Mitte

die auf Seiten der Thermosäule befindliche

die Mitte

die auf Seiten der Wärmequelle befindliche

unverrückt gelassen wird,

wenn die *fein matte Fläche der Säule*, die *matte der Wärmequelle* zunächst stand:

10mm	100 : 56,6	32,1	23,6	231	131	96,0
110mm	100 : 37,8	26,4	23,8	154	108	97,1
210mm	100 : 24,5	24,5	24,5	100	100	100,0

wenn die *matte Fläche der Säule*, die *fein matte der Wärmequelle* zunächst stand:

10mm	100 : 59,4	34,0	26,4	123	71	55,0
110mm	100 : 54,7	37,8	34,0	114	79	71,0
210mm	100 : 48,1	48,1	48,1	100	100	100,0

wenn die *fein matte Fläche der Säule*, die *rauhe der Wärmequelle* zunächst stand:

10mm	100 : 50,0	26,4	15,8	294	155	93,0
110mm	100 : 28,3	21,3	16,6	166	125	97,6
210mm	100 : 17,0	17,0	17,0	100	100	100,0

wenn die *rauhe Fläche der Säule*, die *fein matte der Wärmequelle* zunächst stand:

10mm	100 : 56,6	28,3	16,6	125	62	37,0
110mm	100 : 51,9	34,9	27,6	115	77	61,0
210mm	100 : 45,3	45,3	45,3	100	100	100,0

Diese Zahlen erweisen, daß alle in jenen fünf Sätzen dargestellten Erscheinungen hier sich vollständig wiederholen. Der Unterschied ist nur, daß einerseits die absoluten Mengen der durch die rauhen Schirme hindurchstrahlenden Wärme ausnahmslos größer sind, als in den entsprechenden Fällen zuvor; andererseits die Verhältnisse dieser, innerhalb einer und derselben Versuchsreihe ab- oder zu-

nehmenden, Werthe unter sich bei den diffusen Wärmestrahlen geringer sind, als die damit vergleichbaren der parallel einfallenden.

Für die Durchstrahlung durch mehrere diathermane Körper ist es bisher nicht bekannt gewesen, daß die Reihenfolge derselben von bestimmendem Einfluß auf die gesammte hindurchgehende Wärmemenge seyn könne. Aus dem Vorigen ist ersichtlich, wie der beim Vertauschen zweier ungleich rauher Platten auftretende Unterschied in den Wärmedurchgängen desto bedeutender ist, je verschiedenartiger ihre Oberflächen, je größer ihre Entfernung von einander und je geringer bei gleicher solcher Entfernung ihr Abstand von der Thermosäule, ferner daß derselbe bei parallelen Sonnenstrahlen mehr beträgt, als bei den durch das Milchglas zerstreuten. Der Vergleich je zweier entsprechender Zahlen der ersten und zweiten oder der dritten und vierten Gruppe in jeder der beiden Tabellen zeigt jenes, der Vergleich der Tabellen unter sich dieses so deutlich, daß es überflüssig erscheint, einzelne Beispiele besonders hervorzuheben.

Wie dabei die Entfernung und GröÙe der Wärmequelle sich geltend machen, geht aus nachstehender Versuchsreihe hervor, innerhalb welcher der Abstand der beiden Schirme von einander unverändert gleich 100^{mm} belassen und wie vorher (S. 4) dafür gesorgt wurde, daß trotz Annäherung und Vergrößerung des strahlenden Körpers die galvanometrische Ablenkung vor dem Einschalten der Gläser stets eine und dieselbe war. Wenn zwar die Durchgänge durch beide wieder auf eine gleich 100 gesetzte, vorn auffallende Wärmemenge bezogen sind, so schloßen sich doch die Zahlen den letzten nicht an, weil die Einschaltung an anderer Stelle vorgenommen, auch die Thermosäule mit einem längeren cylindrischen Ansatz nebst Blendung versehen war.

Zwei ungleich rauhe Glasflächen.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelängten, bei den				
	direkten	aus dem <i>Milchglas</i> 17 bei			
		36mm Höhe, 11mm Breite, 66cm Entfernung,	20cm Entfernung, 36mm Höhe, 11mm Breite,	36mm Höhe, 66mm Breite,	66mm Höhe, 66mm Breite,
		ausströmenden Sonnenstrahlen.			
die fein matte der Säule, die raube der Wärmequelle zunächst.	100 : 5	7,0	9,5	9,5	12,5
vertauscht.	100 : 17	20,5	26,5	26,5	27,0

Bei einer Umstellung, welche die raube Fläche der Säule zunächst, die fein matte ihr ferner bringt, steigert sich demnach der zum Thermoskop gelangende Antheil um mehr als das Dreifache bei den direkten Sonnenstrahlen, nicht um das Dreifache bei der fernen und kleinen Milchglasfläche, nur um etwa das Doppelte bei der nahen und größeren. Der durch eine Vertauschung der ungleich zerstreuwenden Schirme herbeigeführte Unterschied nimmt also von einem Maximum bei parallelen, gleichsam aus unendlicher Ferne kommenden, Strahlen mit der Annäherung und Vergrößerung der Wärmequelle ab. Vertritt, wie hier, ein diffundirender Schirm (z. B. Milchglas) die Stelle derselben, so kann noch hinzugefügt werden, daß ein höherer Grad von Diffusion in seiner Wirkung der einer Annäherung oder größeren Ausdehnung gleichkommt.

Das Charakteristische dieses Vorgangs aber und wie derselbe an das Wesen der rauhen Oberfläche und die damit zusammenhängende Zerstreuung der Wärmestrahlen geknüpft ist, wird erst aus dem Verhalten klarer Platten mit glatter Oberfläche ersichtlich. Je zwei solcher, deren jede wie bei den rauhen, den Wärmestrahlen einen andern Durchgang gestattete, wurden mit einander combinirt und unter

Umständen, unter denen jene so große Verschiedenheiten darbieten, dem Gegenversuch unterworfen. Es dienten dazu ein rothes Glas, welches 55,9 Proc.; ein blaues, das 36,8; ein grünes, welches 12,9 Proc. der auffallenden Sonnenstrahlen hindurchläßt. Gegenüber gestellt wurden sie dem einseitig fein matten und grob rauhen Glase, deren jenes bedeutend diathermaner ist als dieses.

Zwei Gläser. Entfernung derselben von einander:	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den			
	directen		aus dem geölten Pa- pier austretenden	
	Sonnenstrahlen.			
	10mm	200mm	10mm	200mm
das fein matte der Säule, das raube der Wärmequelle zunächst.	100 : 1,4	3,9	27,9	30,9
vertauscht.	100 : 5,0	23,1	29,4	47,1
das rothe der Säule, das blaue der Wärmequelle zunächst oder vertauscht.	100 : 22,2	22,2	22,2	22,2
das rothe der Säule, das grüne der Wärmequelle zunächst oder vertauscht.	100 : 5,7	5,6	5,6	5,7
das blaue der Säule, das grüne der Wärmequelle zunächst oder vertauscht.	100 : 4,9	4,3	4,6	4,6

Wie zu erwarten, hat das Vertauschen klarer verschiedenartiger diathermaner Körper mit polirter Oberfläche auf die gesammte, durch sie hindurchstrahlende Wärme nicht den geringsten Einfluß, dieselben mögen in den Gang paralleler oder zerstreuter Wärmestrahlen und in beliebiger Entfernung von einander eingeschaltet werden. Dasselbe gilt für jeden Abstand und jede Größe der Wärmequelle.

Es bestätigt dies aufs Neue, daß die bisher an den rauhen Schirmen beschriebenen Erscheinungen in etwas Anderem als einer auswählenden Absorption, die sicher bei jenen klaren stattfindet, ihren Grund haben müssen, so ähn-

lich sie einer solchen bei einfachen und doppelten Durchstrahlungen und bei Anwendung verschiedener Wärmequellen auch äußerlich erscheinen mögen.

Wo eine auswählende Absorption bei zwei hinter einander aufgestellten Platten sich geltend macht, kann sie schrittweise verfolgt werden. Dies in dem vorliegenden Falle näher zu analysiren, stellte ich die genannten fünf Gläser, der Reihe nach, als erste Schirme auf und prüfte die aus ihnen austretende Wärme hinsichtlich ihrer Fähigkeit, die übrigen Gläser zu durchstrahlen, wobei ich, um den jedesmaligen Einfluß jenes ersten Schirms vollständig beurtheilen zu können, die directen Sonnenstrahlen zum Vergleich daneben stellte.

Gläser.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten,	
	vor dem Durchgange durch das <i>fein matte</i> Glas.	nach
rauhes Glas.	100 : 10,3	23,5
rothes Glas.	100 : 55,9	55,9
blaues Glas.	100 : 36,8	36,8
grünes Glas.	100 : 12,9	12,9
	vor dem Durchgange durch das <i>rauhes</i> Glas.	nach
fein mattes Glas.	100 : 42,6	67,6
rothes Glas.	100 : 55,9	55,9
blaues Glas.	100 : 36,8	36,8
grünes Glas.	100 : 12,9	12,9
	vor dem Durchgange durch das <i>rothe</i> Glas.	nach
fein mattes Glas.	100 : 42,6	42,6
rauhes Glas.	100 : 10,3	10,3
blaues Glas.	100 : 36,8	38,2
grünes Glas.	100 : 12,9	10,3
	vor dem Durchgange durch das <i>blaue</i> Glas.	nach
fein mattes Glas.	100 : 42,6	42,6
rauhes Glas.	100 : 10,3	10,3
rothes Glas.	100 : 55,9	57,4
grünes Glas.	100 : 12,9	12,9
	vor dem Durchgange durch das <i>grüne</i> Glas.	nach
fein mattes Glas.	100 : 42,6	42,6
rauhes Glas.	100 : 10,3	10,3
rothes Glas.	100 : 55,9	44,1
blaues Glas.	100 : 36,8	36,8

Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß Sonnenstrahlen, welche durch die rauhen farblosen Gläser gegangen sind, in gleichem Grade wie die directen ein rothes, blaues, grünes Glas durchdringen, während sie nach ihrem Durchgange durch rothes Glas ein blaues reichlicher, ein grünes weniger reichlich durchstrahlen, hinter dem blauen Glase ein rothes verhältnißmäßig besser, hinter dem grünen ein rothes Glas schlechter als zuvor. Ferner besitzt die durch farbige Platten hindurchgelassene Wärme ganz dieselbe Fähigkeit, die matten Gläser zu durchstrahlen, wie die directe Sonnenwärme. Es ist daraus zu schließsen, daß jene rauhen farblosen Glasplatten eine beim Durchstrahlen zweiter Glasschirme sich geltend machende auswählende Absorption auf die ihnen gebotenen Strahlen nicht ausüben, wie eine solche in auffälliger Weise nach dem Durchstrahlen genannter farbiger Gläser sich zeigt. Ebenso wenig wie, nach obigen Erfahrungen (S. 5 bis 8), Milchglas, geöltes Papier oder dergleichen die Durchgangsfähigkeit der Wärmestrahlen gegenüber der Glasmasse der betreffenden Schirme geändert hatten, war dies bei den rauhen Gläsern der Fall. *Eine auswählende Absorption ist also in den besprochenen Versuchen auch nicht als eine Nebenwirkung hervorgetreten.*

Nach Ermittlung der Thermochrose eines ersten Schirms in Bezug auf die Eigenthümlichkeit eines zweiten ergibt sich die gesammte, durch beide hindurchgehende Strahlenmenge von selbst. Denn, gehen durch ein rothes Glas allein $\frac{55,9}{100}$ der auffallenden Sonnenstrahlen und von den aus diesem austretenden $\frac{38,2}{100}$ durch ein blaues Glas, so dringen durch beide Gläser zusammen $\frac{55,9}{100} \cdot \frac{38,2}{100} = \frac{21,4}{100}$ der einstrahlenden Wärmemenge. Beobachtet wurden $\frac{22,2}{100}$. Durchstrahlen nach dem Durchgange durch das rothe Glas 10,3 Proc. das grüne, so gehen durch beide $\frac{55,9}{100} \cdot \frac{10,3}{100} = \frac{5,76}{100}$; der Beobachtung nach, $\frac{5,65}{100}$. Läßt endlich das blaue Glas

$\frac{36,8}{100}$ hindurch und von diesen das grüne 12,9 Proc., so beträgt der Durchgang durch beide $\frac{36,8}{100} \cdot \frac{12,9}{100} = \frac{4,7}{100}$, was ebenfalls mit dem Resultat des Versuchs $\frac{4,6}{100}$ gut übereinstimmt. Nicht so ist es mit den *rauen Platten*, für welche ein *constantes Durchstrahlungsverhältniß* sich weder bei einer noch bei zweien feststellen läßt, indem dieses Verhältniß mit jeder Entfernung der Schirme von der Wärmequelle, von der Thermostäule; bei mehreren auch mit ihrem Abstände von einander, endlich bei verschiedenen noch mit ihrer Reihenfolge sich ändert.

5. Besonders bezeichnend hierfür, wie für die Gesamtheit der gewonnenen Resultate sind die Messungen der das Thermoskop treffenden Wärmemengen, wenn *raue Schirme* auf der Bahn zwischen Wärmequelle und Säule verschoben werden.

Den Einfluß der *Oberflächenbeschaffenheit der Schirme* und der *Natur der einfallenden Wärmestrahlen* bei diesem *Rücken* ermittelte die erste Versuchsreihe, deren Ergebnisse in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Gläser.	Verhältniß der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermostäule gelangten, bei den				Verhältniß der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den			
	directen		aus dem Milchglase I austretenden		directen		aus dem Milchglase I austretenden	
	Sonnenstrahlen.				Sonnenstrahlen.			
	fern	nah	fern	nah	fern	nah	fern	nah
klar.	100 : 76,0	76	76	76	100 : 100	100	100 : 100	100
einseitig fein matt.	100 : 35,0	69	50	75	100 : 197	197	100 : 160	160
einseitig matt.	100 : 15,0	58	17	63	100 : 387	387	100 : 371	371
einseitig rauh.	100 : 8,0	55	13	60	100 : 687	687	100 : 462	462
zweiseitig matt.	100 : 3,5	48	6	48	100 : 1371	1371	100 : 800	800

Bei einem Nähern um 180^{mm} hinter einem mit rundem Ausschnitt versehenen Metallschirm steigert sich demnach die zur Säule gelangende Wärmemenge bei der fein matten Glasplatte um etwa das Doppelte, bei der zweiseitig matten um fast das Vierzehnfache für directe Sonnenstrahlen, bei jener um das Anderthalbfache, bei dieser um das Achtfache für die aus dem Milchglase hervorgehenden, während das Rücken des klaren Glases keine Aenderung der Art herbeiführt. *Die auf die Thermosäule hindurchstrahlende Wärme wächst demnach mit der Nähe der rauhen Platte ¹⁾ und zwar in dem Maafse, als ihr Diffusionsvermögen zunimmt und bei den directen Sonnenstrahlen in höherem Grade als bei den zerstreuten.*

Nach einem, in meiner früheren Untersuchung aufgefundenen, in diesen Annalen, Bd. CXX, namentlich S. 259 und 285 dargestellten Verfahren ²⁾ untersucht, erwies sich *geöltes Papier diffundirender als Milchglas I.* In diesen beiden Schirmen bot sich demnach ein Mittel dar, auch die Wirkung des Grades der Zerstreung, dem die betreffenden Wärmestrahlen ausgesetzt gewesen, kennen zu lernen. Von den aus ihnen austretenden Strahlen, sowie (des Vergleiches halber) den parallelen Sonnenstrahlen der Reihe nach in gleicher Menge beschienen, wurden das fein matte, das matte und das rauhe Glas der Thermosäule um gleiche Strecken genähert. Sie liefen dabei (unter Hinweglassung des ausgeschnittenen Metallschirms) folgende Wärmemengen zu derselben hindurch.

1) Vergl. Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 222, 257, 258, 280.

2) Ein Zahlenbeispiel zur Erläuterung dieser Methode enthält auch die gegenwärtige Abhandlung bereits in der Tabelle S. 8, welche durch matte Glasplatten einen reichlicheren Durchgang der aus geöltem Papier, als der aus dem Milchglase II austretenden Sonnenstrahlen angiebt, woraus in gleicher Weise, wie es hier vom Milchglase I behauptet wird, für das Milchglas II zu schließen wäre, daß es an diffundirender Wirkung dem geölten Papier nachstehe.

Gläser.	Verhältnis der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den										Verhältnis der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den												
	parallel					durch das Milchglas I geölte Papier zerstreuten					parallelen					durch das Milchglas I geölte Papier zerstreuten							
	mm 220	mm 120	mm 20	mm 220	mm 120	mm 20	mm 220	mm 120	mm 20	mm 220	mm 220	mm 120	mm 20	mm 220	mm 120	mm 20	mm 220	mm 220	mm 120	mm 20	mm 220	mm 120	mm 20
Entfernung derselben von der Thermosäule:																							
einseitig fein matt.	100 : 36,0	50	67	55	65	69,0	68	70	77						100	139	186	100	118	125	100	106	117
einseitig matt.	100 : 17,0	27	55	29	41	57,0	50	57	64						100	159	324	100	141	197	100	114	128
einseitig rauh.	100 : 9,5	17	53	16	28	62,5	44	51	67						100	179	558	100	175	391	100	116	152

Besagte (aus den reducirten Werthen am besten zu ersehende) *Steigerung nimmt hier für dieselbe Strahlengruppe mit der Rauheit des genähten diathermanen Schirmes zu, für denselben Schirm von einem Maximum beim Parallelismus mit der Diffusion der Wärmestrahlen ab.*

Es verdient hierbei der Beachtung, daß; *im Gegensatz zu den klaren Substanzen, eine Platte mit rauher Oberfläche so wenig ein constantes Durchstrahlungsvermögen besitzt, daß sie in einem Falle, wo die Qualität der Wärmestrahlen gar nicht in Betracht kommt; von zwei Strahlengruppen fern von der Säule verschiedene, nahe derselben ganz gleiche Wärmemengen hindurchlassen kann, wie z. B. das zweiseitig matte Glas, welches von den aus dem Milchglas hervortretenden Strahlen in 200^{mm} Abstand fast doppelt so viel hindurchgehen läßt wie von den parallelen und in 20^{mm} Abstand beiden einen gleichen Durchgang gestattet.*

Ebendamit hängt es zusammen, daß *zwei ungleich rauhe Platten in einer Entfernung mit einander verglichen ganz andere Durchstrahlungsverhältnisse darbieten als in einer andern.* So gelangt z. B. von parallelen Strahlen in 220^{mm} Entfernung durch das einseitig rauhe Glas etwa halb so viel Wärme als durch das matte zur Säule, in 20^{mm} Entfernung aber durch beide fast gleich viel. In dem Grade schneller wächst durch Annäherung die Wirkung auf die bestrahlte Fläche bei der rauheren Platte.

Ja, während *von zwei klaren Substanzen, wenigstens für gleichartige Strahlen; sie mögen parallel oder diffus seyn, stets eine die diathermanere bleibt, kann das Verhältniß bei rauhen Platten sich geradezu umkehren.* In 20^{mm} Entfernung erscheint z. B. unter den parallelen Strahlen das einseitig matte Glas diathermaner als das rauhe, unter den vom geölten Papier zerstreuten dagegen an der nämlichen Stelle dieses diathermaner als jenes. Selbst *innerhalb einer und derselben Strahlengruppe: den aus dem Milchglase oder aus dem geölten Papier austretenden Wärmestrahlen vertauschen diese Gläser in der bezeichneten Art ihre Rollen.* Für die Ferne ist das matte, für die Nähe

das raube diathermanor ¹⁾). Es bietet dieser Fall auf dem Gebiete der Wärmelehre ein Analogon zu einem andern dar, den ich früher auf optischem Wege kennen lernte und bei dem von zwei Milchgläsern, je nachdem ich durch dieselben auf einen fernen oder einen nahen Gegenstand blickte, bald das eine, bald das andere durchsichtiger erschien ²⁾).

Die Durchstrahlungsverhältnisse rauher und trüber Medien erhalten auf diese Weise einen weiten Umfang, bestimmte Zahlenwerthe aber eine sehr enge Begrenzung.

Die vorliegende Versuchsreihe giebt noch zu einer weiteren Betrachtung Anlaß. Wollte man die *Frage* beantworten, ob eine *Strahlengruppe diffuser* ist als eine andere, z. B. die aus einem oder einem anderen rauhen oder trüben Schirm *austretende*, deren diffundirende Wirkung man nicht unmittelbar beurtheilen kann: matt geschliffenen Platten, Milchgläsern, durchscheinenden Papieren usw. oder die von diffus reflectirenden Flächen *zurückgeworfene*, so kann man irgend eine matte Platte in den Gang der zu vergleichenden Strahlen einschalten und sie um ein Gleiches längs derselben verschieben. Je geringer die Steigerung ist, welche die *Wärmewirkung* beim Annähern dieser Platte an die *Thermosäule* erfährt, welche vor dem Einschalten von den unmittelbar eintreffenden Strahlen auf gleiche Weise afficirt wurde, desto mehr beträgt die *fragliche Zerstreung der Strahlen*. Eine Controla der Bestimmung wird man außerdem darin finden, daß die den diffuseren Strahlen angehörigen Durchgänge sämtlich höher sind, als die der minder diffusen ³⁾).

Wenn es sich nur um die Entscheidung des *Zerstreungsvermögens diathermaner Schirme* handelt, könnte man auch

1) Resultate, welche ich, ihrer Eigenthümlichkeit halber, öfters bestätigt und jedesmal bestätigt gefunden habe. Sie enthalten einen Grund mehr, weshalb Tabellen, die nicht ausdrücklich für einander bestimmt sind, nicht mit einander verglichen werden können.

2) Pogg. Ann. Bd. CXX, S 201, 252.

3) Vergl. Ebendasselbst S. 255, 259, 265.

einfach diese, der Reihe nach, um dieselbe Strecke in dem Bereich irgend welcher Strahlen, am besten (wegen der größten Unterschiede) der directen Sonnenstrahlen, der *Thermosäule* nähern. Die größere Steigerung der nur auf dem Wege der Durchstrahlung zu dieser gelangenden Wärmemenge spräche für das höhere Diffusionsvermögen. Die letzte Tabelle liefert zu allem Diesem die erforderlichen Beläge.

Welchen Einfluß beim Rücken rauher Glasplatten die jedesmalige *Entfernung* und *Größe der Wärmequelle* haben, zeigen nachstehende Beobachtungen, bei denen zuerst die Größe des von der Sonne beschienenen Feldes des Milchglases II constant gelassen und sein Abstand geändert, sodann dieser beibehalten und jene gewechselt wurde. Die nähere Anordnung des Versuchs entsprach der S. 22 gedachten. Die aus der Sonnenferne kommenden Wärmestrahlen sind ebenfalls mit verglichen. Die Verschiebung der Glasplatten betrug 100^{mm}.

Gläser.	Verhältnis der Wärmemengen, welche vor und nach dem Einschalten der Gläser zur Thermosäule gelangten, bei den										Verhältnis der Wärmemengen, welche die Gläser durchstrahlen, bei den									
	aus dem <i>Milchglase II</i> , bei					aus dem <i>Milchglase II</i> , bei					aus dem <i>Milchglase II</i> , bei					aus dem <i>Milchglase II</i> , bei				
	directen					directen					directen					directen				
Bezeichnung ihrer Entfernung von der Thermosäule:	ausretretenden					ausretretenden					ausretretenden					ausretretenden				
	fern	nah	fern	nah	fern	fern	nah	fern	nah	fern	fern	nah	fern	nah	fern	fern	nah	fern	nah	fern
einseitig fein matt.	100:22	58	52	71	56	72	56	72	62	73	100:264	100:137	100:129	100:129	100:129	100:118				
einseitig rauh.	100:9	32	16	40	17	41	17	41	25	41	100:356	100:250	100:241	100:241	100:241	100:164				

Die zur Thermosäule hindurchstrahlende Wärme nimmt also bei gleicher Annäherung des rauhen diathermanen Schirmes desto weniger zu, je näher und größer die Wärmequelle.

Diese, für die einzelnen rauhen Platten gefundenen Data lassen nun die Erscheinungen vorhersehen, welche bei zwei mit einander verbundenen auftreten müssen.

Es ist danach klar, daß jene *Steigerung* bei bestimmter *Annäherung zweier gleichartiger matter Flächen*, da sie zusammen jedenfalls diffundirender sind als einzeln, *mehr betragen muß als bei einer*; ferner daß dieselbe sich bei *parallelen Strahlen höher* belaufen wird *als bei diffusen*. Die Bestätigung hierfür ist auch in den bereits mitgetheilten Zahlen zu finden. In der Tabelle S. 26 ist eine einseitig matte Platte mit einer zweiseitig matten, 2^{mm} dicken verglichen, deren Rauheitsgrad der nämliche ist. Bei jener erreicht die Zunahme nicht das Vierfache, bei dieser fast das Vierzehnfache. In der ersten horizontalen Reihe der Tafeln S. 15 und 16 sind (von der Rechten zur Linken) die Wärmemengen verzeichnet, welche zwei, um 10^{mm} von einander entfernte, matte Glasflächen zur Therinosäule hindurchlassen, wenn sie dieser zwei Mal um je 100^{mm} genähert werden. Bei den parallelen Sonnenstrahlen übertrifft die Gesamtsteigerung hierbei das Vierzehnfache, bei den durch das Milchglas zerstreuten bleibt sie vor dem Vierfachen stehen. Entsprechendes zeigen die zweiten Reihen, welche einer Verschiebung der beiden, 110^{mm} von einander abstehenden Platten, um je 50^{mm} angehören.

Bei *zwei ungleich rauhen Flächen* ist, wegen des überwiegenden Einflusses der rauheren, dann eine *größere Zunahme* der Wärmewirkung zu erwarten, wenn beim Heranrücken an die Säule *die rauhere vorangeht*. In der Tabelle S. 18 weist der Vergleich der ersten horizontalen Reihen der ersten und zweiten, so wie der dritten und vierten Gruppe, oder der zweiten Reihen dieser Abtheilungen unter sich diesen Vorgang aufs Einleuchtendste nach.

Von den Combinationen einer *fein matten Platte*, einmal mit einer *matten*, das andere Mal mit einer *gröberen*, muß der *letzteren*, als dem stärker diffundirenden System, die *größere Steigerung* zukommen. Die in den ersten Zeilen der ersten und dritten, sowie der zweiten und vierten Gruppe derselben Tafel enthaltenen *Wärmedurchgänge* lassen darüber keinen Zweifel; ebensovienig die in den zweiten Zeilen dieser Gruppen aufgeführten *Werte*. Was hier für die *parallelen Strahlen* sich ergibt, zeigt die Tafel S. 20 für die *verstreuten*, auch sind hier die *Unterschiede* nach *Erwarten geringer*.

Alles aber, was sonst noch hinsichtlich der *Verschiebung* eines von zwei *rauen Schirmen*, von ihrem *wechselseitigen Abstände*, ihrer *Vertauschung* usw. gesagt worden ist, läßt sich jetzt mit derselben *Leichtigkeit* auf ihre *wechselnde Entfernung* von der *Thermosäule* zurückführen, bei welcher stets der *Einfluß* des *räueren* oder *diffundirenden Schirms* den *Ausschlag* giebt.

Es ist also auch in dem *einfachsten* dieser Fälle, demjenigen, in welchem wir die *Durchstrahlung* der *Wärme* durch eine *einseitig matte Platte* untersuchen, nicht *gleichgültig*, ob wir die *glatte* oder die *raue Seite* der *Thermosäule* zukehren. Der *letzteren Stellung* wird immer die *höhere Ablenkung* der *Galvanometernadel* angehören; die *Größe* des *Unterschiedes* aber, auch wohl die *Möglichkeit* ihn überhaupt wahrzunehmen, von dem *Grade der Rauheit*, der *Dicke* der *Platte* und ihrem *Abstände* von *Thermosäule* und *Wärmequelle* bedingt seyn. Die *Erfahrung* hat dies vielfach bestätigt. Bei einem *klaren, einseitig mit einem farbigen Ueberzuge überfangenen Glase* würde die *Ueberstrahlung* ohne jeden *Einfluß* auf die zur *Thermosäule* hindurchstrahlende *Wärmemenge* seyn, wie aus den mit *klaren diathermanen Substanzen* angestellten *Gegenversuchen* hervorgeht.

Demnach haben sich wieder, wie früher, die mannigfaltigsten Erscheinungen der *Durchstrahlung* durch *raue Platten* aus dem gemeinsamen Gesichtspunkte einer *Diffusion*

der Strahlen betrachten lassen und die Beobachtung hat die Rollen ermittelt, welche dabei das Zerstreuungsvermögen der Schirme einerseits und der, mit Beschaffenheit, Entfernung und Grösse der Wärmequelle zusammenhängende, Grad der Zerstreuung der Strahlen andererseits übernehmen. Zur näheren Erläuterung des dabei an rauhen Schirmen stattfindenden Vorgangs hat die eingehende Betrachtung des Hrn. Dr. Jungk einen wesentlichen Beitrag geliefert.

Die Hauptresultate der mitgetheilten Beobachtungen fasse ich in folgende Sätze zusammen:

1. Der Durchgang der strahlenden Wärme durch eine rauhe diathermane Platte ist für eine constante auffallende Wärmemenge desto reichlicher, je näher oder grösser die unmittelbar ausstrahlende Wärmequelle oder an deren Stelle ein, die parallelen Sonnenstrahlen mittelst Durchstrahlung oder Reflexion zerstreuer Körper.

Dieser Einfluss macht sich desto mehr geltend, je rauher die Oberfläche jener diathermanen Platte, so daß bei zunehmender Rauheit derselben ihr Wärmedurchlass um so weniger beeinträchtigt wird; je grösser die Annäherung oder die Ausdehnung jener.

Eine Steigerung der Zerstreuung der Wärmestrahlen hat dieselbe Wirkung wie diese Aenderung der Entfernung und Grösse.

2. Beim Neigen eines, zuerst rechtwinklig gegen die Wärmestrahlen gerichteten, rauhen diathermanen Platte ist der Winkel, welchen die letztere mit den Strahlen in dem Augenblick einschliesst, da das Maximum der Durchstrahlung durch einen zweiten rauhen Schirm eintritt, desto kleiner, je geringer die Rauheit jener ersten Platte ist. Der absolute Werth des bezeichneten Maximums nimmt mit dieser Rauheit zu.

3. Die Durchstrahlung durch zwei gleichartig matte Flächen wird beim Entfernen derselben von einander vermindert, wenn dabei die eine an ihrer Stelle vor der Thermo-

säule belassen, die andere von dieser abgertückt wird; vermehrt, wenn jene Fläche der Säule genähert wird, während diese, auf Seiten der Wärmequelle befindliche, ihre Stelle behauptet; dieselbe kann unverändert bleiben beim Nähern der einen und entsprechendem Entfernen der andern.

Die Unterschiede sind am beträchtlichsten bei parallelen Strahlen. Eine Zerstreung derselben, gleichwie eine Annäherung oder Vergrößerung der Wärmequelle haben, mit einer Steigerung der Durchgänge selbst, eine Verminderung ihrer Unterschiede zur Folge.

4. Von der Durchstrahlung zweier ungleich inatter Flächen gilt im Wesentlichen Dasselbe; doch wäre die bezeichnete Compensation nur bei erheblich ungleicher Verschiebung der einzelnen Flächen nach entgegengesetzten Seiten herbeizuführen.

Die bei wechselnder Entfernung auftretenden Unterschiede sind geringer oder größer, je nachdem die weniger rauhe oder die rauhere Fläche gertückt werden. Bei gleicher Verschiebung beider überwiegt der Einfluß der letzteren.

Von den Verbindungen einer und derselben matten Fläche mit einer rauheren oder einer noch gröberen gehören der ersteren die reichlicheren Durchstrahlungen, aber der letzteren die größeren Verschiedenheiten in diesen unter den gedachten Umständen an.

Werden die Flächen vertauscht, so findet ein erhöhter Durchgang der Wärmestralen durch beide jedesmal statt, wenn die rauhere der Thermosäule zunächst ist. Dieser durch die Vertauschung herbeigeführte Unterschied ist desto bedeutender, je größer die Rauhigkeitsverschiedenheit der betreffenden Flächen, je entfernter sie von einander sind, je näher sie bei gleicher solcher Entfernung der Thermosäule, je entfernter und kleiner die Wärmequelle und je weniger zerstreut deren Strahlen. Das Maximum findet sich daher bei den parallel einfallenden.

5. Alle diese Erscheinungen lassen sich aus dem Ver-

halten einzelner rauher diathermaner Schirme ableiten, bei welchen die Steigerung des Wärmedurchlasses während ihrer Annäherung an die Säule mit ihrer Rauheit oder allgemeiner ihrem Diffusionsvermögen einerseits, mit der Abnahme der Diffusion der Wärmestrahlen oder ihrem Uebergange zum Parallelismus andererseits zunimmt.

Es ist hierin ein Mittel gegeben, aus dem Grade der Steigerung beim Näherrücken diffundirender Schirme an die Thermosäule sowohl auf ihr eigenes Zerstreuungsvermögen als auf das Maafs der Zerstreuung der zu ihnen gelangenden Wärmestrahlen zu schliessen.

Ein rauher oder trüber diathermaner Körper besitzt demnach für die nämliche Art strahlender Wärme nicht ein constantes Durchstrahlungs- und Absorptionsvermögen. Von zwei mit einander verglichenen kann selbst für eine und dieselbe Wärmequelle bald der eine, bald der andere diathermaner seyn.

In allen diesen mannigfaltigen Beziehungen der Durchstrahlung unterscheiden dieselben sich von den klaren diathermanen Körpern mit glatter Oberfläche, so eigenthümlich deren auswählende Absorption den Wärmestrahlen gegenüber auch seyn möge.

II. Beiträge zur Kenntniss des Stickstoffeisens; von Dr. C. Stahlschmidt.

Im Laufe der letzten Jahre ist von verschiedenen Chemikern dem Studium des Stahls und des Roheisens eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden, hauptsächlich wohl aus dem Grunde, weil von Fremy zuerst versucht wurde, die Entstehung und Constitution des Stahls auf eine Weise zu erklären, welche den bis jetzt herrschenden Ansichten ganz fremd und geradezu entgegengesetzt ist.

Fremy trat zuerst mit der kühnen Behauptung auf, der Stahl sey kein Kohlenstoffeisen, sondern ein Stickstoffeisen und verdanke somit seine Eigenschaften nicht dem Kohlenstoff, sondern einem Gehalte an Stickstoff. Später ging Fremy von dieser Erklärungsweise ab, und behauptete, das Eisen ginge durch Aufnahme von Kohlenstoff und Stickstoff in Stahl über und letzterer sey ein Kohlenstickstoffeisen, in welchem die beiden stahlbildenden Elemente zu einem cyanähnlichen und die Rolle eines Radicals oder Metalloids spielenden Körpers enthalten sey. Dieser bisher noch niemals dargestellte zusammengesetzte Körper ist auch im Stahl nicht nachgewiesen worden und somit bis zur Stunde als hypothetischer Stoff zu betrachten, dessen Existenz überhaupt, wohl behauptet aber durchaus nicht bewiesen werden kann. Wie dem aber auch sey, Fremy nimmt ein solches Kohlenstickstoffradical an und erklärt die verschiedenen Eigenschaften der einzelnen Stahlarten aus der verschiedenen Zusammensetzung dieser Kohlenstickstoffverbindung, welche außerdem noch durch verschiedene andere Stoffe theilweise vertreten werden kann, so unter anderem durch Arsenik, Phosphor, Schwefel etc., wodurch dann dem Stahl besondere Eigenschaften aufgeprägt werden.

Die ersten Angaben, daß das Roheisen und der Stahl öfter stickstoffhaltig seyen, sind zuerst von Schafheutel gemacht worden. Nach seinen Angaben sollen diese stickstoffhaltigen Eisensorten, wenn sie mit Kalilauge erhitzt werden, Ammoniak entwickeln, eine Beobachtung, die keinen Schluß auf einen Stickstoffgehalt gestattet, wohl aber erlaubt anzunehmen, daß die untersuchten Eisensorten fertig gebildetes Ammoniak auf ihrer Oberfläche verdichtet enthalten. Von Rammelsberg (Monatsberichte der Berl. Acad. 1862, S. 692) ist die Entstehung dieses Ammoniaks genügend nachgewiesen, vorausgesetzt, daß das gepulverte Roheisen einige Zeit an der Luft liegt, indem es alsdann mit Kali Ammoniak entwickelt. Dasselbe Eisen direct auf Stickstoff untersucht, enthält so geringe Mengen desselben, daß diese höchst wahrscheinlich bei der Analyse aus der

Luft als Ammoniak hineingekommen sind. Boussingault giebt ferner an, daß beim Lösen von absolut reinem Eisen in sturem Ammoniak gebildet wird, was dadurch zu erklären wäre, daß das gebildete Wasserstoffgas in *Status nascentis* mit dem in der verdünnten Säure aufgelösten Stickstoff zu Ammoniak zusammentritt, eine Vermuthung, welche allerdings durch das Experiment der Bestätigung bedarft.

Was nun die von den verschiedenen Chemikern gefundene Stickstoffmenge in den einzelnen Stahl- und Eisensorten anbelangt, so ist dieselbe so ungemein gering und klein, daß man ihr unmöglich eine große Bedeutung beilegen kann, selbst wenn es auf das schlagendste nachgewiesen wäre, daß die im Eisen existire. Fremy selbst giebt über den Procentgehalt des Stickstoffs im Stahl nichts an. Aus den Versuchen von Boussingault, welcher den Gufstahl im Wasserdampf erhitze, und ebenso aus den von Bouis, welcher die untersuchten Stahl- und Eisensorten im Wasserstoff glühte und das freigewordene Ammoniak bestimmte, ergab sich die Stickstoffmenge der Eisensorten wie folgt.

Nach Boussingault enthält	
ein Gufstahl	0,00045 Proc. Stickstoff
Derselbe ergab bei einundzwei-	
ten Versuche	0,005
Bouis fand im Gufstahl von	
Krupp	0,01
Derselbe mit Aether gewaschen	
enthält	0,0005
Stabeisen enthält	0,0009
Weißes Gufseisen	0,001
Graues Rotheisen war frei von Stickstoff	

Aus dem Versuche von Bouis mit Krupp'schem Gufstahl ersieht man, daß der mit Aether gewaschene Stahl eine fast verschwindend kleine Menge Stickstoff enthält, während der nicht mit Aether gereinigte 0,01 Proc. zeigte. Hieraus folgt aber auch ferner, daß der Stickstoffgehalt

des Stahls mehr auf der Oberfläche als im Innern desselben gesucht werden muß, daß mit anderen Worten in diesem betreffenden Falle das Ammoniak entweder auf der Oberfläche verdichtet war, oder daß die Oberfläche des Stahls durch einen Stoff verunreinigt war, der bei höherer Temperatur das Ammoniak durch Zersetzung lieferte. Wie weiter unten angeführt werden wird könnten nach Versuchen von Fremy noch andere Momente in Betracht gezogen werden, durch welche sich eine Ammoniakbildung erklären ließe. Vorerst will ich jedoch einige Versuche mittheilen, die ich über Stickstoffeisen zu dem Zwecke angestellt habe, um über die Entstehung, die Zusammensetzung, sowie über das allgemeine Verhalten und die Eigenschaften desselben näheren Aufschluß zu erhalten.

Die bisjetzt gemachten Angaben über die Bildung und Eigenschaften des Stickstoffeisens differiren so beträchtlich untereinander, daß es bei der Wichtigkeit, welcher dieser Körper in dem allgemeinen Streite über die Stahlbildung erlangt hat, von Interesse seyn muß, eine genauere Kenntniß desselben zu erhalten.

Berthollet, Thenard und Savart ließen Ammoniak auf Eisendraht in der Glühhitze einwirken und fanden, daß das Gewicht des Eisens um fast nichts zunahm, das Eisen aber spröde wurde. Savart erwähnt, daß bei langem Ueberleiten des Ammoniaks, das Eisen weicher wird, als es ursprünglich war, während bei einer Einwirkung von nur zwei Stunden das Eisen sich stahlartig verhielt und sich härten ließ. Nach Despretz endlich soll das Eisen beim Glühen im Ammoniakstrom um 7 — 11,5 Proc. zunehmen und sich in eine weiße spröde zerreibliche Masse umändern. Buff fand unter diesen Umständen eine Gewichtszunahme von 6 und Regnault von 12 bis 13 Proc.

Fremy hat nun einen anderen Weg der Darstellung angegeben, nach welchem man das Stickstoffeisen leicht erhalten kann. Er benutzt wasserfreies Eisenchlorür und leitet über dasselbe in der Glühhitze einen Strom trocknen Ammoniakgases, wodurch unter Freiwerden, von he-

deutenden Mengen Salmiaks das Stickstoffeisen als eine graue, zuweilen metallisch glänzende weisse Masse zurückbleibt, welche sehr spröde, leicht zerreiblich, schwerer oxydirbar als reines Eisen ist und von Salpetersäure langsam, von Salzsäure aber rasch aufgelöst wird. In Wasserstoff geglüht verliert es nach Fremy 9,3 Proc. Stickstoff und es bleibt reines Eisen zurück. Aus dem Stickstoffverlust berechnet Fremy die Formel NFe_2 , welche 9,1 Proc. verlangt, während der von Despretz gefundene Gehalt von 11,5 Proc. mit der Formel NFe_3 nahezu übereinstimmt, welche 11,1 Proc. Stickstoff fordert.

Aus den verschiedenen Resultaten, hervorgegangen aus den vielfachen Untersuchungen, könnte gefolgert werden, daß das Eisen mit dem Stickstoff eine große Anzahl von Verbindungen eingehe, und demnach fähig sey, sich mit einem Stickstoffeisen von bestimmter Verbindung zu legiren. Dieses als richtig angenommen und erwiesen könnte es allerdings scheinen, daß der Stickstoff eine analoge Rolle zu spielen im Stande sey, wie der Kohlenstoff, welcher ja auch nach den genauesten Untersuchungen in den verschiedenartigsten Mengenverhältnissen mit dem Eisen verbunden angenommen werden muß. Aus den von mir angestellten Versuchen geht hervor, daß der Stickstoff sich in einem ganz bestimmten Verhältniß mit dem Eisen verbindet und daß alle die bisher angenommenen Stickstoffeisen, welche nur wenig Stickstoff enthalten, betrachtet werden müssen, als Gemenge dieses Stickstoffeisens von bestimmter Zusammensetzung mit reinem Eisen, wobei noch besonders hervorzuheben ist, daß dieses Stickstoffeisen sich nicht in der ganzen Masse gleichmäÙig vertheilt findet.

Das zu meinen Versuchen dienende Stickstoffeisen wurde aus sublimirtem Eisenchlorür und Ammoniak nach der von Regnault und Fremy vorgeschlagenen Methode bereitet. Beim Ueberleiten des trocknen Ammoniaks über das Eisenchlorür, wird ersteres von letzterem begierig und unter starker Erwärmung aufgenommen und Eisenchlorür-Ammoniak gebildet. Wird die Röhre, in welcher sich das

selbe gebildet hat, alsdann erhitzt, so fängt die Masse an zu schmelzen und geht in eine dunkle Flüssigkeit über, aus welcher sich das aufgenommene Ammoniak rasch entwickelt. Eisenchlorür bleibt als schwach gelb gefärbte poröse Masse zurück, aus der sich bei stärkerem Erhitzen das Stickstoffeisen unter Salmiakbildung erzeugt. Gleichzeitig tritt bei dem Zersetzungsprocess eine große Menge Wasserstoffgas auf.

Die Temperatur, bei welcher sich das Stickstoffeisen bildet, kann eine sehr niedrige seyn und darf weit unter der dunklen Rothglühhitze liegen. Bei aufmerksamer Beobachtung sieht man, daß dasjenige Eisenchlorür, welches in der Röhre eine sehr dünne Lage bildet, fast momentan zu Stickstoffeisen übergeht, während dasjenige, welches eine dicke Schicht bildet, längere Zeit zur Zersetzung bedarf. Im letzteren Falle muß eine weit höhere Temperatur angewendet werden, wenn alles Eisenchlorür in Stickstoffeisen umgewandelt werden soll, wobei dann gewöhnlich ein Theil des ersteren sublimirt. Das Stickstoffeisen, welches bei den verschiedenen Temperaturen dargestellt wird, hat eine verschiedene Zusammensetzung und im Allgemeinen einen um so niedrigeren Stickstoffgehalt, je höher die angewendete Temperatur war. Um ein Stickstoffeisen von gleicher Zusammensetzung zu erhalten, ist es nöthig, daß das Eisenchlorür in einer sehr dünnen Schicht und bei einer so niedrigen Temperatur dem Ammoniakstrom dargeboten wird, daß das gebildete Chlorammonium eben verflüchtigt wird. Nachdem die Bildung des Stickstoffeisens beendigt ist, welches man daran erkennt, daß keine Salmiakdämpfe mehr auftreten, leitet man noch einige Zeit Ammoniak über dasselbe und läßt dann im Ammoniakstrom erkalten. Das auf diese Weise in dünnen Blättchen und theilweise als graues Pulver erhaltene Stickstoffeisen hat genau die Zusammensetzung NFe , und ist somit ein Ammonium, in welchem aller Wasserstoff durch Eisen vertreten ist. Folgende Analysen, die jede mit einer anderen Probe Stickstoffeisen gemacht wurde, bestätigen dieses:

1,49 Grm. Stickstoffeisen verloren im Wasserstoffstrom
geglüht

0,17 Grm. Stickstoff als Ammoniak
entsprechend 14,4 Proc. Stickstoff

0,5575 Grm. verloren 0,062 Grm.

Stickstoff = 11,1

0,58 Grm. verloren 0,066 Grm. Stick-

stoff = 11,38

0,735 Grm. verloren 0,090 Grm.

Stickstoff = 10,88

0,807 Grm. wurden in einem Platintiegel bei Luftzutritt
so lange geglüht, bis keine Gewichtsabnahme mehr

stattfand. Es resultirten 1,025 Grm. Eisenoxyd, ent-
sprechend 0,7175 Grm. Eisen. Der Stickstoffgehalt ist

darnach = $0,807 - 0,7175 = 0,0895$ Grm., oder gleich
11,1 Proc. Die Formel NFe_2 verlangt 11,1 Proc.

Bei der Zersetzung des Stickstoffeisens im Wasserstoff-
strom erkennt man sofort ob man es mit reinem Stickstoff-
eisen zu thun hat, oder ob dasselbe noch Eisenchlorür ent-
hält. Im letzteren Falle bildet sich nämlich aus dem Eisen-
chlorür Salzsäure, welche sich mit dem gleichzeitig aufstei-
genden Ammoniak zu Salmiak vereinigt, und sich als sol-
cher bemerkbar macht. Bei der Analyse der angeführten
Proben trat entweder keine Spur Salmiak auf, oder die
als durchsichtiger Hauch sich angesetzte Menge, war so ge-
ring, daß sie vermittelst der Waage nicht bestimmt werden
konnte.

Stickstoffeisen, welches in compacten Stücken darge-
stellt wurde enthielt, wenn die Temperatur ziemlich niedrig
gehalten wurde, gewöhnlich größere Mengen unzersetzten
Eisenchlorürs. War jedoch die Temperatur eine so hohe,
daß alles Eisenchlorür sich zersetzte, so enthielt das re-
sultirende Stickstoffeisen eine viel geringere Menge Stick-
stoff und zwar war dieselbe um so kleiner, je höher die
Temperatur gesteigert wurde. Folgende Analysen, welche
von Stickstoffeisen gemacht wurden, die mittelst Eisenchlo-
rür unabhängig voneinander bei immer höherer Tempe-

ratur dargestellt wurden, liefern hierfür die nötigen Beweise.

0,948 Grm. Stickstoffeisen verloren im Wasserstoff			
	gelöst . . .	0,097 Grm. ==	10,2 Proc. Stickstoff
0,989	" do. do.	0,098	" == 9,6 " "
1,056	" do. do.	0,095	" == 9,0 " "
1,083	" do. do.	0,088	" == 8,1 " "
1,3344	" do. do.	0,081	" == 6,1 " "
1,395	" do. do.	0,076	" == 5,4 " "
0,979	" do. do.	0,047	" == 4,8 " "
2,155	" do. do.	0,103	" == 4,2 " "
0,843	" do. do.	0,023	" == 2,7 " "

Ein weiterer Beleg für die durch vorstehende Analysen hinreichend bewiesene Richtigkeit der ausgesprochenen Ansicht, liefert folgender directer Versuch. Ein von Eisenchlortür freies Stickstoffeisen, welches 9,3 Proc. Stickstoff enthält, wurde in einer Kugelhöhre in einem lebhaften Ammoniakstrom einer höheren Temperatur ausgesetzt und alsdann der Stickstoff in demselben bestimmt. 0,924 Grm. verloren 0,046 Grm. Stickstoff, entsprechend 4,99 Proc. Der Stickstoffgehalt hatte sich also um 4,31 Proc. oder fast um die Hälfte vermindert.

Aus den vorstehenden Versuchen geht deutlich hervor, daß sich das Stickstoffeisen nur bei sehr niedriger Temperatur bildet und selbst im Ammoniakstrom bei höherer Temperatur zersetzt wird. Die ungemein schwierige Darstellung des Stickstoffeisens und die von so vielen Seiten gefundene verschiedenartige Zusammensetzung desselben bei scheinbar gleicher Befolgung der Vorschrift, erklärt sich durch die merkwürdige Eigenschaft dieser Verbindung, daß ihr Entstehen an eine Temperatur geknüpft ist, welche fast an denjenigen Temperaturgrad gränzt, bei welcher sie zersetzt wird. Hierdurch ist es auch erklärt, warum Berthollet, Thenard und Savart beim starken Glühen von Eisen im Ammoniakstrom ein Stickstoffeisen erhielten, welches nur Spuren von Stickstoff enthält.

Statt Eisenchlortür zur Darstellung des Stickstoffeisens

anzuwenden, kann man sich auch des Eisenchlorids hierzu bedienen. Die äußere Erscheinung bei der Bildung des Stickstoffeisens sind denen beim Eisenchlorür ähnlich, indem das Eisenchlorid bei erhöhter Temperatur zuerst in Eisenchlorür übergeht. Das aus dem Chlorid gebildete Stickstoffeisen hat dieselbe Zusammensetzung, denn 1,108 Grm. verloren 0,125 Grm. Stickstoff = 11,28 Proc.

Die Bildung des Stickstoffeisens erfolgt auf die Weise, daß zuerst das Ammoniak zersetzt wird. Der Wasserstoff vereinigt sich mit dem Chlor des Eisenchlorürs und bildet Salzsäure, welche ihrerseits mit einer äquivalenten Menge Ammoniak zu Salmiak zusammentritt. Das entstandene poröse Eisen vereinigt sich mit einem andern Theil Stickstoff im *Status nascendi* zu Stickstoffeisen, während der Ueberschuss des Wasserstoffs frei wird. Man kann jedoch auch annehmen, daß der Stickstoff und das Eisen beide im Entstehungsmomente sich zu NFe_4 nach folgender Formel vereinigen:



Die erstere Bildungsweise, welche durch die Formeln $NH_3 = N + H_2$; $3FeCl + 3H = 3Fe + 3ClH$ und $4Fe + NH_3 = NFe_4 + 3H$ veranschaulicht wird, scheint die wahrscheinlichere zu seyn, wobei noch besonders hervorzuheben ist, daß bei Gegenwart von Eisen das Ammoniak sehr leicht und bei sehr niedriger Temperatur zersetzt wird. Außerdem spricht hierfür auch die directe Darstellung des Stickstoffeisens aus metallischem Eisen und Ammoniak, während auf der anderen Seite die Bildung desselben aus Eisenoxyd und Ammoniak auf beide Weisen erklärt werden kann.

Die Entstehung des Stickstoffeisens aus metallischem Eisen und Ammoniak ist ferner dadurch interessant, als die Einflüsse der Temperaturdifferenzen bei der Bildung desselben genau beobachtet werden können, und dadurch besonders der Beweis geliefert wird, wie schwierig es ist größere Mengen reines Stickstoffeisen auf die eine oder andere Weise darzustellen.

Das bei diesem Versuche verwendete Eisen, wurde aus Eisenchlorür-freiem und durch längeres Erhitzen im Wasserstoffstrom vom Stickstoff vollständig befreitem Stickstoffeisen dargestellt. Dasselbe wurde in einer Kugelschale so weit erhitzt, daß übergeleitetes Ammoniak eben zersetzt wurde. Das überschüssige Ammoniak wurde in eine Chlorcalciumlösung geleitet und hiervon vollständig absorbiert, während an dem auftretenden Wasserstoff und Stickstoff der Gang der Operation beobachtet werden konnte. Als auf diese Weise 2,098 Grm. Eisen verwendet wurden, nahmen dieselben an Gewicht zu.

nach 1 Stunde 0,136 Grm. entsprechend 6,08 Proc. N.

$\frac{3}{4}$	"	0,147	"	"	6,50	"	"
$1\frac{1}{2}$	"	0,184	"	"	8,66	"	"
a) 2	"	0,155	"	"	6,88	"	"
2	"	0,225	"	"	9,66	"	"
1	"	0,233	"	"	10,00	"	"
1	"	0,239	"	"	10,20	"	"
$1\frac{1}{2}$	"	0,244	"	"	10,4	"	"
2	"	0,244	"	"	10,4	"	"
5	"	0,266	"	"	10,8	"	"

Die unter a) aufgeführte Zahl wurde erhalten, als während der angegebenen Zeit etwas stärker erhitzt wurde. Nach jedesmaligem Erhitzen wurde das Stickstoffeisen im Ammoniakstrom erkalten gelassen und hierauf das Ammoniak durch trockne Luft verdrängt. Es unterliegt wohl keinem Zweifel; daß bei weiterem vorsichtigem Erhitzen das Stickstoffeisen die noch fehlenden 0,3 Proc. N aufgenommen haben würde, ich habe jedoch den Versuch nicht fortgesetzt, weil der gefundene Procentgehalt hinreichend den Beweis liefert, daß das aus Eisen dargestellte Stickstoffeisen ein Eisenammonium und mit dem aus Eisenchlorür erhaltenen identisch ist.

Bei der Darstellung des Stickstoffeisens aus Eisen und Ammoniak wird letzteres somit zersetzt und der Stickstoff im *Status nascenti* von dem Eisen aufgenommen, während der Wasserstoff entweicht. Leitet man ohne die Temper-

ratur, bei welcher sich das Stickstoffeisen gebildet hat, zu verändern. Wasserstoff über dasselbe, so entweicht aller Stickstoff wieder in Form von Ammoniak und es bleibt reines Eisen zurück. Für sich erhitzt wird die größte Menge Stickstoff des Stickstoffeisens frei, in diesem Momente besitzt derselbe eine große Verbindungsfähigkeit, vor allem eine große Verwandtschaft zum Wasserstoff und vereinigt sich daher mit demselben zu Ammoniak. Es geht hieraus also hervor, daß das Stickstoffeisen bei derselben Temperatur vom Wasserstoff zersetzt wird, bei welcher es sich aus dem Ammoniak bildet, und es erklärt sich dieses eigen thümliche Verhalten leicht, wenn man die Mengenverhältnisse der einwirkenden Körper, Ammoniak und Wasserstoff in Betracht zieht. Bei der Bildung wiegt das Ammoniak bedeutend vor, und schützt das gebildete Stickstoffeisen vor der Zersetzung durch das freigewordene Wasserstoffgas, während bei Anwendung von reinem Wasserstoffgas die Verwandtschaft desselben zum Stickstoff und das Bestreben des letzteren Gasform anzunehmen, überwiegen und die Zersetzung hervorrufen. Hieraus erklärt sich auch, warum bei höherer Temperatur ein Stickstoffeisen entsteht, welches nur einige Proc. Stickstoff enthält, indem bei dieser, erstens die Verwandtschaft zwischen dem Eisen und Stickstoff geringer ist, dann aber auch bedeutende Mengen Wasserstoffgas auftreten, welche dem Ammoniak oder dem auftretendem Stickstoff das Gleichgewicht halten und dadurch denselben hindern am Eisen zu treten.

Die Leichtigkeit mit der im Ganzen das poröse Eisen den Stickstoff des Ammoniaks aufnimmt, giebt uns ein Mittel an die Hand das reine NFe_4 darzustellen. Man braucht nur das durch starkes Erhitzen erhaltene stickstoffarme Eisen bei niedriger Temperatur, mehrere Stunden lang, im Ammoniakstrom zu erhitzen, bis die Gewichtszunahme den richtigen Procentgehalt anzeigt.

Nach Fremy (*Compt. rend.* T. 53 p. 324) soll sich freier Stickstoff mit Eisen, jedoch nur schwierig verbinden, während diese Verbindung leichter erfolgt, wenn dasselbe

im Entstehungsmomente mit dem Stickstoff zusammentritt. Hiernach soll Stickstoffeisen gebildet werden, wenn Eisenoxyd mit Kohle im Stickstoffstrom erbitzt wird, oder wenn Stickstoff und Wasserstoff gleichzeitig über erhitztes Eisenoxyd geleitet wird. Was die erstere Bildungsweise anbelangt, so habe ich aus Stickstoffeisen dargestelltes poröses Eisen viele Stunden lang, bei einer Temperatur, bei welcher sich Stickstoffeisen bilden aber nicht zersetzen konnte, in reinem trockenem Stickgase erbitzt und dadurch die Ueberzeugung gewonnen, daß nicht die geringste Spur Stickstoff von dem Eisen aufgenommen wird, letzteres vielmehr unverändert bleibt. Als Eisenoxyd in einem trockenem Stickstoff-Wasserstoffstrom mehrere Stunden lang erbitzt wurde, trat ebensowenig eine Bildung von Stickstoffeisen ein. Das bei diesem Proceß gebildete Wasser war zu allen Zeiten Ammoniakfrei und ebenso das zurückbleibende Eisen vollständig frei von Stickstoff. Hätte sich unter diesen Umständen Stickstoffeisen gebildet, so wäre es nicht unmöglich eine Ammoniakbildung beim Ueberleiten von Wasserstoffgas über glühenden Stahl zu erklären. Wäre nämlich der Stahl oberflächlich oxydirt, so könnte in diesem Falle das Oxyd mit dem Wasserstoff, wenn derselbe noch geringe Mengen Luft enthielte, zuerst Stickstoffeisen und somit nachher Ammoniak bilden. Aus den mitgetheilten Versuchen geht zur Evidenz hervor, daß freier Stickstoff durchaus nicht im Stande ist sich mit Eisen zu verbinden, selbst wenn dieses im *Status nascenti* mit dem Gase in Berührung kommt, daß vielmehr die Bildung des Stickstoffeisens abhängig ist von Stickstoff, welcher im Entstehungsmomente sich befindet und in diesem Zustande mit dem Eisen zusammentrifft. Den Versuch mit Eisenoxyd, Kohle und Wasserstoff habe ich nicht wiederholt, weil ich der festen Ueberzeugung bin, daß er dieselben negativen Resultate geliefert haben würde.

Das Stickstoffeisen wird je nach der Darstellungsweise als ein graues Pulver oder als mehr oder weniger compacte und dann gewöhnlich silberweiße Masse erhalten.

Stets ist es ungemein spröde und läßt sich zu dem feinsten Pulver zerreiben, welches in eine Gas- oder Spiritusflamme gestreut unter brilliantem Funkensprühen verbrennt. In einem schwerschmelzbaren Glasröhrchen erhitzt, zerfällt es schon bei niederer Temperatur und läßt Stickstoff entweichen. Die letzten Reste Stickstoff, werden jedoch erst bei einer Temperatur frei, die der Rothglühhitze naheliegen. Als dasselbe in der gewöhnlichen Gaslampe in einem Glasröhrchen so lange erhitzt wurde bis kein Stickstoff mehr entwich, enthielt das zurückbleibende Eisen noch 0,9 Proc. Stickstoff. Als das Stickstoffeisen im Ammoniakstrom im Platintiegel über die Gebläselampe etwa $\frac{1}{2}$ Stunde erhitzt wurde, war es vollständig frei von Stickstoff. Das Eisen mit noch 0,9 Proc. Stickstoff war weich und besaß die Eigenschaften des stickstofffreien Eisens, ein Beweis dafür, daß sich ein geringer Stickstoffgehalt nicht auf die ganze Masse vertheilt, oder daß eine so geringe Menge Stickstoff das Eisen nicht spröde macht.

Erstere Vermuthung scheint, wie schon zu Anfang erwähnt, insofern die wahrscheinlichere zu seyn, als bei der gewöhnlichen Darstellung des Stickstoffeisens bei erhöhter Temperatur es nicht schwer wird, aus der Stickstoffeisenmasse einzelne Parthien, besonders dünne Blätter, herauszusuchen, die sich biegen lassen und nicht im Mindesten mehr spröde sind.

Das beim Erhitzen des Stickstoffeisens entwickelte farblose Stickstoffgas, ist nicht geruchlos, wie man vermuthen sollte, sondern besitzt einen eigenthümlichen schwachen Geruch, welcher entfernt an den des durch hohe Temperatur zersetzten Hornes erinnert. Mit Wasser in einem Probirocyylinder gekocht, wird das Stickstoffeisen unter Freiwerden von Ammoniak erst nach langer Zeit und nur unmerklich zersetzt, jedoch im Wasserdampf geglüht unter Bildung von Eisenoxyduloxyd und Ammoniak leicht gespalten. Beim Erhitzen im Stickstoff verliert es seinen Stickstoff gerade so, als wenn er für sich geglüht wird, ein Versuch

der angestellt wurde um Gewissheit zu erlangen, ob vielleicht das Stickstoffeisen unter Aufnahme von Stickstoff in ein Eisenammoniak NFe_2 überzugehen im Stande sey. In Salpetersäure, Salz- und Schwefelsäure löst sich das NFe_2 leicht auf, in ersterer unter Entwicklung von Stickoxyd, in letzteren beiden Säuren unter Freiwerden von Wasserstoff und Bildung von Ammoniaksalzen. Die Menge des freiwerdenden Wasserstoffs entspricht dem vierten Atom Eisen



Letztere Formel widerspricht der Ansicht Despretz (*Annal. de Chim. et de Phys.* T. 42, p. 122), nach welcher sich beim Auflösen des Stickstoffeisens in verdünnter Schwefelsäure ausser Wasserstoff auch noch Stickstoff entwickelt, dessen Menge ungefähr 6 Proc. der Wasserstoffmenge ausmacht. Versuche die ich mit NFe_2 und verdünnter Salzsäure angestellt habe, beweisen jedoch, dass dasselbe nach der aufgestellten Formel zerlegt wird, und dass dem entsprechend, auch ohne directen Versuch, bei der Gleichwerthigkeit der verdünnten Schwefelsäure angenommen werden muss, dass bei Anwendung dieser, aller Stickstoff in Ammoniak übergeführt wird.

Bei der Anwendung von Salzsäure habe ich mich auf folgende Weise hiervon überzeugt. Ein Stickstoffeisen, welches 9,2 Proc. Stickstoff enthielt, wurde in Salzsäure gelöst, zur Lösung ein Ueberschuss von Kalihydrat gesetzt und hierauf das freigewordene Ammoniak durch Destillation abgetrieben und in Salzsäure aufgefangen. In dieser Lösung wurde das Ammoniak auf gewöhnliche Weise mittelst Platinchlorid bestimmt und der Stickstoffgehalt zu 9,1 Proc. aus dem Platinammoniak berechnet. Das Stickstoffeisen muss nach den mitgetheilten Ergebnissen und wie schon hervorgehoben wurde, als ein Eisenammonium betrachtet werden. Fremy hat für dasselbe die Formel NFe_2 aufgestellt; eine Annahme, die jedoch um so weniger gerechtfertigt ist, als das Eisen in dieser Verbindung die Stelle

des Wasserstoffs spielt, dann aber auch andere Metallverbindungen von ähnlicher Zusammensetzung bekannt sind, so unter andern das von Dr. Weil dargestellte Tetramercurammonioxyd und das Chlorid des Tetramercurammoniums. Das Eisenchlorür-Ammoniak kann hierhin gerechnet und betrachtet werden, als ein Chlorammonium, worin das vierte Atom Wasserstoff durch Eisen vertreten ist.

Ähnlich den Quecksilberverbindungen sollte man vermuthen, daß auch das Tetraferammonium fähig sey sich mit elektronegativen Körpern zu verbinden, allein directe Versuche haben dieses nicht bestätigt. Von verdünnten Säuren wissen wir, daß sie sich mit dem Stickstoffeisen gerade so verbinden, als wenn das Eisen im reinen Zustande vorhanden sey. Interessant war es hiernach zu untersuchen, welches Verhalten Chlor, Brom und Iod dem Stickstoffeisen gegenüber zeigen, zu welchem Zwecke dasselbe theils im fein gepulverten Zustande, theils in festen Stücken der Einwirkung dieser Körper ausgesetzt wurde. Als Stickstoffeisen und Iod, beide im feinvertheilten Zustande, mit Wasser 24 Stunden in Berührung gelassen wurde, war ersteres unverändert geblieben und zeigte, nachdem das Iod durch Auflösen in Alkohol entfernt worden war, alle seine charakteristischen Eigenschaften. Mit Brom und Wasser zusammengebracht bildet es ebenfalls keine Verbindung mit diesem; ebensowenig enthält die wässrige Bromlösung Eisen im gelösten Zustande. Das zurückbleibende Stickstoffeisen verändert jedoch hierbei seine Farbe und sieht stahlgrau aus. Gewaschen, verhält es sich wie gewöhnliches Stickstoffeisen und ist frei von Brom. Im getrockneten Zustande auf dem Platimbleche erhitzt, entzündet es sich und verpufft wie Zunder. Erhitzt man das Stickstoffeisen mit Brom und Wasser, so verbindet sich das Brom mit dem Eisen unter Entwicklung von Wasserstoff. Kocht man nachher die Lösung so lange bis aller Brom verjagt ist und übersättigt mit Kalilauge, so entwickelt sich unter Abscheidung von Eisenoxydhydrat, Ammoniak, ein Beweis, daß auch bei dieser Zersetzung der Stickstoff als Ammo-

niak ausgeschieden wird. Gegen frisch bereitetes Chlorwasser, verhält sich das Stickstoffeisen wie gegen Brom. Bei gewöhnlicher Temperatur wird es nicht angegriffen, bei höherer aber energisch unter Wasserstoffentwicklung und Bildung von Ammoniak gelöst. Ob aller Stickstoff als Ammoniak ausgeschieden wird, habe ich nicht untersucht, es ist aber nicht wahrscheinlich, da sicher, wenn es der Fall wäre, das überschüssige Brom und Chlor zersetzend einwirken würden. Es können demnach, wie aus diesen Versuchen hervorgeht, auf die beschriebene Weise kein Iod, Brom und Chlorverbindungen des NFe_3 erzeugt werden, auch entsteht, wie ich anderweit vermuthete bei der Zersetzung, unter Bildung von Iod, Brom oder Chloreisen kein Iod, Brom oder Chlorstickstoff, was bei der Verbindungsfähigkeit des Stickstoffs im *Status nascendi* nicht unwahrscheinlich erschien.

Eigenthümlich erscheint die Zersetzung des Stickstoffeisens durch wässriges Chlor und Brom bei höherer Temperatur unter Bildung von großen Mengen Wasserstoff. Auf den ersten Blick sollte man glauben, es würde sich Chloreisen unter Freiwerden von Stickstoff bilden $\text{NFe}_3 + 6\text{Cl} = 2\text{Fe}_2\text{Cl}_3 + \text{N}$. Die Erscheinung erklärt sich aber durch die Annahme, daß in einer wässrigen Chlor- oder Bromlösung bei höherer Temperatur und vielleicht bei Gegenwart von Eisen oder ähnlichen Körpern das Chlor und Brom aufgefaßt werden muß, als mit dem Wasserstoff des Wassers, zu Salzsäure oder Bromwasserstoffsäure und mit dem Sauerstoff desselben zu unterchloriger Säure oder einer höheren Sauerstoffstufe des Chlors und Broms verbunden. Das Zersetzende des Chlorwasser, z. B. ist dann die Salzsäure, wodurch dann gleichzeitig die Ammoniakbildung erklärt wird. Für diese Annahme spricht die Beobachtung, daß sich das Stickstoffeisen und ebenso das reine Eisen in Chlorwasser stets als Eisenchlorür löst und später in Eisenchlorid übergeht, während beim Erhitzen des Eisens im Chlorstrom gleich Eisenchlorid gebildet wird.

Das beim Erhitzen des Stickstoffeisens im Wasserstoff-

gas zurückbleibende Eisen hat eine silberweiße Farbe, ist glänzend, ungemein dehnbar und so weich, daß es sich in dicken Stücken mit einem gewöhnlichen Messer ohne große Mühe schneiden läßt. In Säuren ist es, ohne Rückstand zu lassen, löslich und ist überhaupt das reinste, bisjetzt dargestellte Eisen. Das specifische Gewicht wurde zu 6,03 bestimmt. An der Luft oxydirt es sich leichter als gewöhnliches Eisen, dasselbe geschieht auch, nur viel rascher, wenn es im feuchten Zustande auf 100 bis 120° erhitzt wird. Es besitzt ferner die Eigenschaft, Wasser in nicht unerheblicher Menge auf seiner Oberfläche zu condensiren, wenn es in gewöhnlicher Luft liegt; ein gleiches Verhalten zeigt auch das Stickstoffeisen. Alle übrigen Eigenschaften stimmen mit denjenigen des gewöhnlichen Eisens überein.

Indem ich das Stickstoffeisen speciell verlasse, wende ich mich jetzt wieder zur Stahlbildung und deren Theorie und will die von Fremy aufgestellten Ansichten über Stahlbildung einer kurzen Betrachtung unterziehen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der dem Stickstoffeisen zukommenden Eigenschaften.

Nach Fremy geht das Stickstoffeisen mit Kohle geglüht in eine metallische Masse über, welche sich durch Ablösen härten läßt und frei von Stickstoff ist. Diese Angabe ist vollkommen richtig und harmonirt mit der Eigenschaft des Stickstoffeisens, daß es bei höherer Temperatur seinen Stickstoff vollständig verliert und im gelockerten Zustande dem Kohlenstoff den Eintritt gestattet. Anders verhält es sich mit der Behauptung, daß Eisen im Leuchtgas erhitzt keinen Stahl bilde, daß aber derselbe durch diesen Proceß aus Stickstoffeisen leicht entstehe und ebenso aus reinem Eisen, wenn dasselbe in Leuchtgas und Ammoniak gleichzeitig geglüht wird. Das Stickstoffeisen zersetzt sich bei der Rothglühhitze vollständig, selbst wenn es im Ammoniakstrom erhitzt wird. Die Zersetzungstemperatur liegt daher unter derjenigen, bei welcher sich der Kohlenstoff und der Stickstoff unter gewissen Bedingungen mit einander verbinden und es ist daher nicht anzunehmen, daß der Stickstoff des

Stickstoffeisen mit dem Kohlenstoff des Leuchtgases eine Verbindung eingehe und das Eisen in Stahl verwandele. Bei der Behandlung des reinen Eisens in der Glühhitze mit Ammoniak und Leuchtgas, kann allerdings, wie Fremy behauptet, eine Masse zurückbleiben die stahlartige Eigenschaften besitzt und im Wasserstoffstrom erhitzt Ammoniak liefert, aber diese Masse ist kein Stahl, sondern es ist ein kohlehaltiges Eisen, welches eine gewisse Menge Stickstoff als Stickstoffeisen enthält. Das kohlehaltige Eisen absorbiert, im Ammoniakstrom erhitzt, auch eine bestimmte Menge Stickstoff, proportional der Temperatur und was die Absorptionszeit anbelangt proportional der Dichte des Eisens. In diesem Eisen ist dann der Stickstoff nicht mit dem Kohlenstoff verbunden zu betrachten und er tritt durchaus nicht stahlbildend auf. Bei der gleichzeitigen Anwendung von Ammoniak und Leuchtgas in hoher Temperatur, kann es nicht befremden, daß das Eisen in Stahl übergeht, indem sich bei diesem Proceß Cyanammonium bildet, welches vornehmlich die Eigenschaft besitzt stahlbildend zu wirken, wie dieses zuerst von Gay-Lussac von dem Cyangas speciell nachgewiesen wurde; welches über glühendes Eisen geleitet in Kohlenstoff und Stickstoff zerfiel, von welchem ersterer das Eisen spröde macht. Nach ihm, wurde von Stein (Polyt. Centralblatt 1851; S. 897) besonders hervorgehoben, daß das Eisen in Cyangas oder in Cyankalium geglüht in Stahl übergehe, und später von Caron der directe Beweis geliefert, daß das Eisen dann stets leicht in Stahl übergeführt wird, wenn ihm im glühenden Zustande flüchtige Cyanverbindungen geboten werden, sey es in fertiger Form oder im Momente der Entstehung (*Ann. de Chim. et de Phys.* T. 60 p. 210). Er fand, daß sich ein Gemenge von Kohle und kohlenstauer Baryt vorzüglich zur Cementation eignet, wenn dasselbe unter Luftzutritt mit Eisen geglüht wird. In diesem Falle tritt Cyanbaryum stahlbildend auf. Da nach Caron's und Rammelsberg's Untersuchungen, der Stahl sowohl, als das besonders zur Stahlherstellung verwendete Roheisen, frei von

Stickstoff ist, so muß das Cyan als eine Substanz angesehen werden, welche in besonders hohem Grade befähigt ist, seinen Kohlenstoff an das Eisen abzugeben, hingegen nicht befähigt seinen Stickstoff dem Eisen einzuvorleihen, weil die Zersetzung des Cyans bei einer Temperatur erfolgt, bei welcher die Affinität des Eisens zum Stickstoff vollständig aufgehört hat.

Nach Fremy zersetzt sich der Stahl im glühenden Zustande im Wasserstoffstrom auf bekannte Weise und es ist dieser der vorgeschriebene Weg den Stickstoff nachzuweisen. Hiernach müßte sich also die hypothetische Kohlenstickstoffverbindung, die cyanartige Eigenschaften haben soll, mit Wasserstoff zerlegen, eine Annahme, die jedoch nicht bewiesen ist und nicht bewiesen werden kann. Das Cyan zersetzt sich selbst bei Gegenwart des Wasserstoffs, erst bei sehr hoher Temperatur und es ist mit Bestimmtheit anzunehmen, daß eine mehr Kohlenstoff haltende Substanz, als welche die von Fremy behauptete ohne Zweifel angenommen werden muß, eine noch höhere Temperatur bedarf, um in ihre Bestandtheile zu zerfallen, wie dieses bei stickstoffhaltigen organischen Materien begründet ist, die selbst in der höchsten Temperatur eine stickstoffhaltige Kohle zurücklassen. Das Stickstoffeisen zerfällt aber bei einer Temperatur, die kaum die Schmelzhitze des Bleies übersteigt, wenn es mit Wasserstoff in Berührung kommt, und das Gleiche ist auch beim Stahl und Roheisen nach Fremy der Fall. Hiernach müßten also, wenn der Stickstoff ein wesentlicher Bestandtheil des Stahles ist, durch Wasserstoff die Eigenschaften desselben bei der Glühhitze aufgehoben werden, wie dieses zuerst von Caron hervorgehoben wurde. Derselbe fand jedoch, daß der Stahl in trockenem Wasserstoff geglüht sich nicht im Mindesten verändert, sondern alle seine Eigenschaften behält.

Chevreul, welcher Fremy's Ansicht theilt, erklärt die Stahlbildung durch Cämentation dahin; daß sich aus dem Eisen und Ammoniak zuerst Stickstoffeisen bilde, welches letztere durch die nachher auftretenden Kohlenwasser-

stoffe zersetzt werden, indem der größte Theil des Stickstoffs sich mit dem Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe zu Ammoniak oder Cyanammonium verbinde und das zurückbleibende wenig Stickstoff haltende Stickstoffeisen mit Kohle zu Stahl zusammentrete. Ohne auf diese schön zurecht gelegten Ideen näher einzugehen, mag hier nochmals als Gegenbeweis desselben hervorgehoben werden, daß sich ein geringer Stickstoffgehalt in einem Eisen nicht auf die ganze Eisenmasse gleichmäßig vertheilt, sondern stets als NFe_4 ungleichmäßig vertheilt vorhanden ist. Bei der Darstellung des Puddel- und Schmiedestahls, welche beide aus einem kohlereichen Eisen durch vollständige Schmelzung und gleichzeitiger Oxydation eines Theiles Kohlenstoff gewonnen werden, mit Chevreul anzunehmen, daß der Stickstoff direct aus der Luft aufgenommen werde, widerspricht ebenfalls dem Verhalten des Eisens, welches weder bei hoher noch niedriger Temperatur Stickstoff aufzunehmen im Stande ist, ebenso aber auch dem von Fremy selbst angestellten Versuche mit Stickstoffeisen, welches in einem Kohlentiegel geschmolzen, seines ganzen Stickstoffgehaltes beraubt wird.

Faßt man sämtliche Resultate der vielfältigen Untersuchungen, welche sich auf den Stickstoffgehalt des Stahles oder des Eisens beziehen, zusammen, so geht daraus hervor, daß es an Beweisen für das Vorhandenseyn des Stickstoffs fehlt, noch mehr aber an Beweisen für die Nothwendigkeit des Stickstoffs als stahlbildender Körper, wie dieses auch durch viele neuere Untersuchungen, so von Morveau, Margueritte, Caron und Anderen bewiesen ist, aus welchen unzweideutig hervorgeht, daß das Eisen in Stahl überzugehen im Stande ist, wenn es mit völlig stickstofffreien Substanzen in der Glühhitze zusammengebracht wird, daß aber auf der anderen Seite die flüchtigen Cyanverbindungen als für die Stahlbildung besonders geeignete Körper zu betrachten sind.

Berlin, Laboratorium des Königl. Gewerbe-Institutes.

III. *Bestätigung des elektrolytischen Gesetzes im Fall der Strom eine äußere Wirkung ausübt; von Hrn. J. L. Soret.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. *Bibl. univ.* 1864 *Avril* ¹.)

Um gemäß der mechanischen Wärmetheorie zu erklären wie der elektrische Strom außerhalb der Kette, in welcher sich derselbe bewegt, eine Wirkung, z. B. eine mechanische Arbeit oder einen Inductionstrom hervorbringe, hat man ein Hypothese zu Hülfe gezogen, die von Hrn. Helmholtz, Hrn. Scoresby und Joule, Hrn. Clausius und anderen Physikern aufgestellt worden ist. Dieselbe läßt sich folgendermaßen ausdrücken:

Wenn der Strom keine äußere Wirkung ausübt, so ist die in der Kette entwickelte Wärme äquivalent der gesammten Wärme, die von der in der Säule stattfindenden chemischen Action verausgabt wird ²). Diese chemische Action ist ihrerseits, gemäß dem elektrolytischen Gesetz, proportional der Intensität des Stroms.

Ueßt dagegen der Strom eine äußere Action aus, so nimmt seine Intensität und demzufolge die chemische Action ab. Die von der Säule verausgabte gesammte Wärmemenge wird also proportional der Intensität verringert seyn.

¹) Diese Abhandlung ist eine Fortsetzung der früheren des Verfassers: *Sur la corrélation de l'électricité dynamique et des autres forces physiques* (*Mém. de la. soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève*, T. XIV et XV, et *Archives de la Bibl. univ.* T. XXXVI, (1857.) p. 38 et 123, et T. IV (1859) p. 66.)

²) Nach den Versuchen des Hrn. P. A. Favre und des Hrn. Raoult ist dies Gesetz, so ausgedrückt, nicht immer richtig. Bei der Daniell'schen Säule scheint es richtig zu seyn; allein bei anderen Säulen würde ein constanter Antheil der geleisteten Arbeit nicht unter der Form eines elektrischen Stroms erscheinen, sondern sich unmittelbar in der Säule unter der Form von Wärme entwickeln. Indels, wenn der Antheil dieser letzten Wärmemenge wirklich constant ist, ändert er nichts am Raisonnement. Es kommt darauf zurück, die Säule als eine von geringerer elektromotorischer Kraft zu betrachten.

Allein man weiß, daß die von einem Strom in einem Leiter entwickelte Wärme proportional ist dem Quadrat der Intensität; folglich muß die in der Kette entwickelte Wärme proportional dem Quadrat der Intensität abgenommen haben, während die verausgabte Wärme nur proportional der einfachen Intensität verringert wird. Mithin ist die in der Kette entwickelte Wärme nicht mehr äquivalent der Gesamtheit der chemischen Action entsprechenden Wärme und der Unterschied stellt die ausgeübte äußere Arbeit dar.

Die verschiedenen bisher hieüber angestellten experimentellen Untersuchungen z. B. die von Hrn. P. A. Favre, Hrn. Leroux, Hrn. Matteucci und mir, stimmen im Allgemeinen mit dieser Hypothese. Dessenungeachtet ist der experimentelle Beweis derselben noch nicht vollständig.

Insbesondere setzt diese Auslegung voraus, daß das elektrolytische Gesetz richtig bleibe, im Fall der Strom eine äußere Arbeit ausübt. Dies ist meines Wissens noch nicht auf eine genaue Weise bewiesen worden¹⁾; daher habe ich einen solchen Beweis nicht für überflüssig gehalten und einen Vergleich der Intensität mit der Quantität der chemischen Action, wenn der Strom eine äußere Wirkung ausübt, unternommen.

Die am häufigsten von mir angewandte Methode zur Messung der Quantität der chemischen Action bestand darin, daß das Gewicht des auf einen in Kupfervitriol getauchten Streifen oder Platindraht abgelagerten Kupfers bestimmt wurde. Schon in meinen früheren Arbeiten über das elektrolytische Gesetz²⁾ hatte ich von diesem Verfahren Gebrauch gemacht und die Mittel angegeben, es sehr genau zu

1) In einer Arbeit, die zum Zweck hatte, das mechanische Wärme-Äquivalent mittelst eines elektromagnetischen Motors zu bestimmen, ist Hr. Matteucci zu Resultaten gelangt, die nicht alle mit dem elektrolytischen Gesetze übereinstimmen; allein der geschickte italienische Physiker schließt daraus nicht auf Unrichtigkeit des elektrolytischen Gesetzes, sondern gibt deutlich an, daß er die Abweichungen eigenthümlichen störenden Ursachen zuschreibe.

2) Man sehe: *Archives*, T. XXVII (1854) p. 113 und T. XXIX (1855) p. 265.

machen, Mittel, welche hauptsächlich darin bestanden, sehr reinen Kupfervitriol und Elektroden von kleiner Oberfläche zu nehmen.

Seitdem haben andere Physiker sich mit der Elektrolyse des schwefelsauren Kupferoxyds beschäftigt¹⁾, und gefunden, daß selbst wenn die Flüssigkeit neutral ist und die positive Elektrode aus Kupfer besteht, das Gewicht des Niederschlags auf der negativen Elektrode etwas geringer ist, als man normal erhalten müßte. Diese Fehlerquelle ist sehr klein, wenn die Elektroden von geringer Oberfläche sind. Hr. A. Perrot schätzt ihn auf $\frac{1}{4}$ Milligramm pro Stunde und 100 Quadratcentimeter Oberfläche. Wenn man zwei Platin-Elektroden anwendet, wird die Flüssigkeit sauer und es entwickelt sich Sauerstoff an der positiven Elektrode. Unter diesen Umständen muß die Menge des abgelagerten Kupfers, welche sich wieder löst, größer sein als bei einer positiven Elektrode von Kupfer. Ich habe eine Reihe von Bestimmungen gemacht, um zu sehen, welchen Werth diese Fehlerquelle unter verschiedenen Umständen haben würde. Ich erkannte, daß außer dem Einfluß der Dauer des Versuchs und der Oberfläche der Elektrode, das Verhältniß des sich wieder lösenden Kupfers noch von einigen anderen Umständen abhängt. Zuerst nimmt es zu mit der Temperatur, bei welcher man arbeitet. Zweitens ist diese Wirkung desto größer, je beträchtlicher die Menge des im Elektrolyten gelösten Sauerstoffs wird. Als ich z. B. eine Platinplatte zur positiven Elektrode nahm, war das Gewicht des Niederschlags geringer als wenn der Sauerstoff sich an einem Platindraht entwickelte. Hat nämlich die Elektrode eine große Oberfläche, so erscheint der Sauerstoff in Gestalt sehr kleiner Blasen, die lange am Metall haften bleiben, so daß das Gas sich leicht im Elektrolyten löst. Ebenso findet man beim Vergleiche der Niederschläge in zwei mit Kupfervitriollösung versehenen Voltametern, von denen das eine schon zu einem Versuche

1) Siehe die Abhandlung des Hrn. V. Dupré (*Archives T. XXXV* (1867) p. 98) und die des Hrn. Perrot (*Compt. rend.* 1859 Juli 4).

gedient hat, das andere aber frische Flüssigkeit enthält, daß der Kupferrniederschlag in dem ersten Voltameter geringer ist als in dem zweiten.

Diese Fehlerquelle ist übrigens immer klein. Bei einem Voltameter mit reinem Kupfervitriol und zwei Platindrähten als Elektroden, kann man das sich wieder auflösende Kupfer auf etwa 0,1 Milligrm. pro Stunde anschlagen¹⁾.

Bei den weiterhin angeführten Versuchen war diese Fehlerquelle allemal, wenn ein Voltameter mit zwei Platindrähten in der Kette befindlich war, durchaus unmerklich wegen der kurzen Dauer des Versuchs (fast immer eine Stunde, niemals mehr als zwei). Insbesondere versicherte man sich, daß, wenn man zwei Voltameter in die Kette brachte, eins, in welchem die negative Elektrode aus einem bloßen Draht bestand, während in dem anderen die Elektrode aus zwei Drähten gebildet war, d. h. die dop-

- 1) Leicht ersichtlich ist, daß diese Fehlerquelle keinen merklichen Einfluß hatte auf die Resultate, zu welchen ich in meinen Abhandlungen über das elektrolytische Gesetz gelangt bin. Bei den Bestimmungen, welche Gegenstand meiner ersten Arbeit ausmachten (*Archives*, T. XXVII (1854) p. 113) handelte es sich hauptsächlich um den Vergleich der Gewichte des metallischen Niederschlags in zwei Kupfervitriollösungen, die entweder durch Concentration oder durch Gehalt an Säure oder anderen Salzen verschieden waren. Die Versuche dauerten gewöhnlich nur zwei bis drei Stunden; der auf 0,1 Milligrm. stündlich abgeschätzte Fehler trat daher in die Gränzen der Unsicherheit der Wägungen. Ueberdies mußte in jedem der beiden Voltameter eine analoge Wirkung entstehen; und es ist also nur der Unterschied dieser fast schon unmerklichen Wirkungen, welcher auf die Resultate von Einfluß seyn konnte. — In einer zweiten Abhandlung (*Archives*, T. XXIX (1855) p. 265) verglich ich die durch die Elektrolyse getrennten Gewichte von Kupfer, Wasserstoff und Silber; die Versuche hatten im Allgemeinen nur kurze Dauer und bei denen, die am längsten dauerten, erneute man mitten im Versuch den Kupfervitriol, was die Fehlerquelle verminderte. Wenn man übrigens an den erlangten Resultaten die Berichtigung von stündlich 0,1 Millgrm. anbringt, so ist die Bestätigung des elektrolytischen Gesetzes noch angenäherter, mit Ausnahme jedoch des letzten Vergleichs von Kupfer und Wasserstoff, bei welchem Versuch der Apparat, der schon lange gebraucht worden, wahrscheinlich etwas verlor.

pelte Oberfläche darbot, man niemals einen Gewichtsunterschied erhielt.

Bei anderen Versuchen maß ich die chemische Action nicht mittelst eines in die Kette eingeschalteten Voltameters, sondern durch Bestimmung des in der Säule selbst abgelagerten Kupfers. Ich gebrauchte ein Daniell'sches Element, in welchem die gewöhnliche Kupferplatte durch eine Platinplatte ersetzt war. In diesem Fall war die Fläche auf welche der Niederschlag sich ablagerte, größer; doch überstieg sie niemals 12 Quadratcentimeter. Da unter diesen Umständen keine Sauerstoff-Entwicklung stattfindet und die Flüssigkeit neutral bleibt, so kann man der Schätzung des Hrn. Perrot, den begangenen Fehler auf $\frac{1}{4} \times \frac{1}{100} = 0,03$ Millgrm. pro Stunde, die gewöhnliche Dauer des Versuchs, veranschlagen. Ueberdies sorgte man immer dafür, die Bestimmungen, welche mit dem eine äußere Wirkung ausübenden Strom gemacht waren, zu vergleichen mit anderen Bestimmungen, welche unter ähnlichen Umständen mit einem continuirlichen Strom angestellt wurden.

Ich glaube also, daß diese Methode eine mehr als hinlängliche Genauigkeit besitzt.

Zur Messung der Intensität des Stroms bediente ich mich einer Sinusbusssole, verfertigt zu Paris von Hrn. Ruhmkorff. Diefes Instrument kann auch als Tangentenbusssole gebraucht werden, allein ich finde, daß es für diesen Fall nicht hinlänglich genau ist.

Um eine äußere Wirkung von einiger Kräftigkeit zu erhalten, kann man sich nicht eines continuirlichen Stromes bedienen; der Strom muß durch einen Unterbrecher abwechselnd geschlossen und geöffnet werden. Wenn diese Abwechselung von Durchgängen und Pausen des Stroms rasch aufeinander folgen und der Apparat regelmäßig geht, so nimmt die Bussolnadel eine stabile Lage an und ihre Ablenkung mißt die mittlere Intensität des discontinuirlichen Stroms.

Diese Ablenkung beobachtete man von zwei zu zwei Minuten, während der ganzen Dauer des Versuchs; das

Mittel aus diesen Beobachtungen gab das Maass der mittleren Intensität. Bei einem continuirlichen Strom genügte es, alle vier Minuten zu beobachten, weil seine Intensitätsveränderungen langsamer und viel regelmäßiger waren.

Was die Erzeugung der äusseren Arbeit betrifft, so kommt es nicht darauf an, dass ihr absoluter Werth gross sey, sondern darauf, dass das Verhältniss der äusseren Arbeit zur gesammten Arbeit beträchtlich sey. Um die Prüfung unter guten Umständen vorzunehmen, muss das Verhältniss der verausgabten Wärme, die sich in äussere Arbeit umwandelt, beträchtlich seyn.

Zu dem Ende habe ich fast immer vom Ruhmkorff'schen Apparat Gebrauch macht. Jedoch habe ich auch einige Versuche mit elektro-magnetischen Motoren angestellt; allein diese Apparate haben das Ueble, dass sie im Allgemeinen den Gebrauch einer ziemlich starken Säule erfordern. Wenn die Einrichtung der Maschine den Gebrauch einer Säule von einem einzigen Element erlaubt, so muss man diesem eine grosse Oberfläche geben, und dann hält es schwer, das Gewicht des in diesem Elemente abgelagerten Kupfers mit Genauigkeit zu bestimmen. Besteht die Säule aus mehreren Elementen hintereinander, so verliert die Messung der chemischen Gesamtwirkung gleichfalls an Genauigkeit. In der That, worauf hat man zu achten bei dieser Prüfung des elektrolytischen Gesetzes? Man hat zu sehen, ob die chemische Gesamtwirkung in demselben Maasse abnehme wie die Intensität, sobald der Strom eine äussere Wirkung ausübt. Nun ist die chemische Wirkung gemessen in einem Element nur ein Quotient der chemischen Gesamtwirkung aller Elemente. Die Empfindlichkeit ist also desto geringer, je grösser die Zahl der Elemente ist.

Dagegen ist es bei dem Ruhmkorff'schen Apparat nicht nöthig, einen mächtigen Strom anzuwenden, um eine relativ bedeutende äussere Wirkung zu erhalten. Der Widerstand der primären Kette ist schwach; man kann also wenn man es wünscht, sich eines einzigen Elementes von

so kleinen Dimensionen bedienen, daß eine genaue Bestimmung der chemischen Wirkung möglich ist.

Um den Coëfficienten des Apparates zu bestimmen, machte ich viele Versuche unter Anwendung continuirlicher Ströme von verschiedener Intensität. Diese Versuche wurden eingeschoben zwischen die, bei denen unter übrigen identischen Umständen, eine äußere Wirkung ausgeübt ward. Jeder Reihe von Bestimmungen in dem Fall der Erzeugung einer äußeren Arbeit entsprach also eine Reihe mit einem continuirlichen Strom gemachter Versuche und das Mittel daraus gab den Coëfficient des Apparats.

Betrachtet man die Gesamtheit jeder Reihe von diesen mit einem continuirlichen Strom gemachten Versuchen so erkennt man, daß die Resultate übereinstimmend sind. Das Gewicht des Kupferniederschlags, direct bei jedem Versuch durch Wägung erhalten, weicht höchstens um etwa ein halbes Milligramm. von dem ab, welches aus der Intensität und dem vom Mittel der Versuche der Reihe gegebenen Coëfficienten berechnet ist. Man kann daraus schließen, daß diese Methode hinreichend genau ist, und überdies bestätigen diese Versuche die Genauigkeit des electrolytischen Gesetzes für den Fall, daß der Strom continuirlich ist.

Schreiten wir jetzt zu den mit einem discontinuirlichen Strom angestellten Versuchen.

Bei einer ersten Reihe von Versuchen bestand die Kette aus einer Batterie von 4 bis 6 großen Daniell'schen Elementen, einem Voltameter mit zwei Platindrähten als Elektroden in Kupfervitriollösung, einer Bussole und einem großen Ruhmkorff'schen Apparat, versehen mit seinem Quecksilberunterbrecher. Bei dieser Einrichtung ist der Widerstand sehr groß und daraus folgt, daß die kleinen Unregelmäßigkeiten im Gange des Quecksilber-Unterbrechers meistens unmerklich sind; die Bussolnadel ist so stabil, daß man die Ablenkung beobachten kann. Allein zugleich ist die äußere Wirkung, wie sich voraussehen liefs, sehr klein in Bezug auf die geleistete Gesamt-Arbeit. Den Be-

weis davon hat man in der Kleinheit der Intensitäts-Variationen, welche der Strom erleidet, wenn man ihn eine äussere Arbeit thun lässt oder nicht.

Die mit dem elektrolytischen Gesetz übereinkommenden Resultate dieser Versuche beweisen also nur, daß die Discontinuität, abgesehen von der äusseren Wirkung, die sie zu Folge haben kann, keine Störung herbeiführt, und daß die mittlere Ablenkung der Bussolnadel, wie man annimmt, ein Maass der mittleren Intensität des discontinuirlichen Stromes ist.

Um zu erkennen, ob die Erzeugung einer äusseren Wirkung einen Einfluß ausübe, muß man die äussere Arbeit relativ bedeutender machen; und zu dem Ende muß man den Widerstand verringern, das Voltameter mit Kupfervitriol fortnehmen, die Batterie auf ein einziges Element von kleinen Dimensionen reduciren und die chemische Wirkung durch Bestimmung des Gewichtes des in diesem Elemente selbst abgelagerten Kupfers messen.

Bei dieser neuen Einrichtung des Apparates ist die Regelmässigkeit des Quecksilber-Unterbrechers nicht mehr genügend; sehr selten zeigt sich die Bussolnadel so stabil, daß man ihre Ablenkung messen könnte. Ich mußte daher auf den Gebrauch dieses Unterbrechers verzichten und ihn durch einen mit gezahntem Rade ersetzen. Das Rad war von Messing, hatte 80 Zähne und eine horizontale Axe, die sich über einem kleinen mit Alkohol gefülltem Blechgefäß befand. Der untere Theil des Rades tauchte in den Alkohol und eine vom Boden des Gefäßes sich erhebende Platinfeder drückte gegen die Zähne des Rades, welches durch eine elektro-magnetische Maschine in Bewegung gesetzt wurde. Die Unterbrechungen des Stromes geschahen daher unter dem Alkohol.

Für Untersuchungen, wie die vorliegenden, ist dieser Unterbrecher weit vorzüglicher als der Quecksilber-Unterbrecher und zwar aus zwei Gründen. Zuerst erlangt man, selbst wenn der Widerstand gering ist, eine hinreichende Stabilität der Bussolnadel, um ihre Ablenkung messen zu können. Indefs ist die Nadel bei weitem nicht so ruhig

als bei Anwendung eines continuirlichen Stroms und die Genauigkeit der Bestimmungen daher merklich geringer. Zweitens folgen die Unterbrechungen viel rascher auf einander; leicht erhält man 3 bis 4000 in der Minute. Daraus folgt, daß die äußere Wirkung bedeutend vergrößert ist, so daß die Intensitäts-Variationen, welche der Strom erleidet, wenn man die äußere Wirkung abändert oder unterdrückt, ungemein bedeutend sind. So z. B. stieg die Intensität vom Einfachen fast aufs Doppelte, wenn man die vorher offene Inductionsrolle des Ruhmkorff'schen Apparates schloß.

Hierauf machte man Versuche bald bei geschlossener, bald bei offener Inductionsrolle dieses Apparates. Im ersten Fall ist die Intensität des primären Stromes stärker; die äußere Arbeit besteht hauptsächlich aus inducirten Strömen; im zweiten ist die Intensität schwächer, die inducirten Ströme pflanzen sich nicht fort, aber in dem Unterbrecher sind die Funken stärker. Man hat also zwei verschiedene Erzeugungsarten von äußerer Arbeit. Die folgende Tafel enthält die gewonnenen Resultate. Die erste Columnne enthält die direct durch Wägung gefundene Gewichte des Kupfers; die zweite das Gewicht desselben, berechnet aus der gemessenen Intensität und nach dem Coëfficienten des Apparates, der durch eine mit einem continuirlichen Strom angestellte parallele Versuchsreihe bestimmt worden war. Alle Versuche hatten eine gleiche Dauer (eine Stunde), so, daß die Gewichte des abgelagerten Kupfers zugleich das Maass der Intensität angeben.

Gewichte des abgelagerten Kupfers.

Gefunden	Berechnet	Unterschied	
gram	gram	gram	
0,1683	0,1685	— 0,0002	Inductionsrolle geschlossen
0,1381	0,1380	+ 0,0001	
0,1322	0,1321	+ 0,0001	
0,1065	0,1072	— 0,0007	
0,0921	0,0915	+ 0,0006	
0,0896	0,0897	— 0,0001	Inductionsrolle offen
0,0890	0,0900	— 0,0010	
0,0717	0,0717	— 0,0000	

Wie man sieht, sind die Unterschiede zwischen dem berechneten und den beobachteten Gewichten außerordentlich klein. Diese Resultate scheinen mir also, was das Gewicht des Kupferniederschlags betrifft, die Richtigkeit des elektrolytischen Gesetzes aufser Zweifel zu setzen.

Ich habe auch gesucht, die chemische Action durch die Menge des gelösten elektro-positiven Metalls zu bestimmen. Allein es ist mir weder mit reinem, noch mit amalgamirtem Zink gelungen, Resultate von einiger Genauigkeit zu erhalten; immer war die locale Action zu groß, um sie vernachlässigen, und zu unregelmäßig, um sie berechnen zu können. Mit dem Kadmiun gelang es mir etwas besser; aber die Resultate boten doch bei weitem nicht die Genauigkeit dar, welche man durch Wägung des Kupferniederschlags erreicht. Kadmiumplatten, amalgamirt oder nicht, werden bei Eintauchung in verschiedene Flüssigkeiten selbst dann angegriffen, wenn die Kette nicht geschlossen ist, und diese locale Action ist verschieden nicht nur bei jeder Platte, sondern auch nach dem Zustand der Oberfläche des Metalls. Das beste Verfahren, die Berichtigung wegen dieser Fehlerquelle zu ermitteln, besteht, wie ich gefunden darin, daß man mit einer selben Platte successive drei Bestimmungen macht unter Anwendung erstens eines continuirlichen Stroms, zweitens eines discontinuirlichen Stroms mit Erzeugung äußerer Arbeit, und drittens wiederum eines continuirlichen Stromes. Bei jeder dieser drei Operationen bestimmt man das Gewicht des im Elemente abgelagerten Kupfers und des aufgelösten Kadmiuns. Wenn keine örtliche Wirkung stattfände, müßten diese Gewichte, dem elektrolytischen Gesetz zufolge, in dem Verhältniß der chemischen Aequivalente des Kupfers und des Kadmiuns stehen. Der Unterschied zwischen dem direct gefundenen und dem aus dem Kupferniederschlag berechneten Kadmiungewichte mässe also die locale Wirkung bei der ersten und dritten Bestimmung. Ich nahm an, daß das Mittel die locale Action vorstelle, welche das Kadmiun bei der zweiten Bestimmung erlitt.

Statt der Säule diene ein kleines Element bestehend

aus einer Kadmiumpatte in gesäuertem Wasser und einer Platinplatte in Kupfervitriollösung. Es war nicht nöthig die Intensität an der Bussole zu messen, da die vorhergehenden Versuche gezeigt hatten, daß das Gewicht des Kupferniederschlags allemal proportional ist der Intensität. Bei jeder Bestimmung unterhielt man den Strom eine Stunde lang.

Die Resultate dieser Reihe sind in folgender Tafel enthalten. Sie giebt in der vierten Spalte, für jeden Versuch, den Werth der Berichtigung, erhalten, wie gesagt, mittelst der beiden mit den continuirlichen Strom gemachten Bestimmungen, deren unmittelbare Resultate nicht in der Tafel angegeben sind.

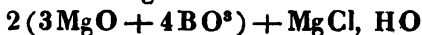
Gewicht des gelösten Kadmiums			Werth der Berichtigung	Bemerkungen	
Gefunden und berichtigt	Berechnet aus dem Kupfergewicht	Unterschied			
gram	gram	gram	gram		
0,1883	0,1876	+ 0,0007	0,0093	Induct.strom geschlossen	Platten nicht amalg.
0,2120	0,2075	+ 0,0045	0,0049		
0,1596	0,1622	— 0,0026	0,0105	do.	Platten amalgamirt
0,1668	0,1679	— 0,0011	0,0117	do.	
0,1581	0,1543	+ 0,0038	0,0182	do.	
0,1636	0,1676	— 0,0040	0,0122	do.	
0,1867	0,1876	— 0,0009	0,0105	do.	
0,0972	0,0981	— 0,0009	0,0105	Induct.strom offen	

Man sieht, die Unterschiede zwischen den berechneten und beobachteten Gewichten sind gewöhnlich viel gröfser als die möglichen Fehler bei den Wägungen. Jedoch sind diese Unterschiede bald positiv, bald negativ, und nichts deutet darauf, daß die Erzeugung einer äußeren Wirkung begleitet sey von einer Aenderung im Verhältniß des gelösten elektro-positiven Metalls. Ich glaube demnach, daß man auch diese Resultate als eine Bestätigung der Richtigkeit des elektrolytischen Gesetzes für den Fall, daß der Strom eine äußere Arbeit thut, ansehen kann.

IV. Ueber den Stafsfurtit; von Dr. A. Steinbeck.

Die in neuerer Zeit vom Hrn. Bergrath Bischof herausgegebene Schrift: »Die Steinsalzwerke bei Stafsfurt« enthält S. 36 eine von der bisher anerkannten, durch die umfassenden Untersuchungen des Hrn. Heintz und Sievert¹⁾ begründeten Formel für die chemische Constitution des Stafsfurtit abweichende Annahme, insofern Hr. Bergrath Bischof die Existenz jenes Aequivalentes Wasser in dem vom löslichen Chlormagnesiumhydrat befreiten Stafsfurtit nicht anerkennt, welches den HH. Heintz und Sievert Veranlassung zu der Behauptung giebt, daß der Stafsfurtit nicht eine dimorphe Form des Lüneburger Boracit, sondern vielmehr ein wasserhaltiger Boracit sey.

Bei der Wichtigkeit des Gegenstandes und mit Berücksichtigung des Umstandes, daß die vorgenannten Analytiker den fraglichen Wassergehalt des ausgewaschenen Stafsfurtit nur auf indirectem Wege ermittelten, erschien es dem Verfasser angemessen, die Untersuchungen über den Wassergehalt des Stafsfurtit nach *directer Methode* auszuführen und so die noch streitige Frage der Entscheidung näher zu führen, ob der mit heißem Wasser ausgewaschene, von dem löslichen Chlormagnesiumhydrat befreite Stafsfurtit 1 Aequivalent chemisch gebundenes Wasser enthalte, wie Heintz und Sievert gemäß der Formel



annehmen, oder ob ihm wie dem Lüneburger Boracit nach Bischof die Formel



zukomme.

Behufs Darstellung des zur Ausführung der Untersuchung erforderlichen Materials wurde der Stafsfurtit, wie er aus der Grube kommt, gröblich zerkleint und mit hei-

1) Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften Bd. 13.

tem destillirtem Wasser der Art behandelt, daß die durch Auflösung des Chlormagnesiumhydrat sich bildenden feinsten Theilchen abgeschlämmt werden konnten. Die abgeschlämmte Masse wurde wiederholt mit destillirtem Wasser ausgekocht und schließlic auf ein Filter gebracht, auf welchem das Auswaschen so lange fortgesetzt wurde, bis einige Tropfen des Filtrats auf Zusatz von salpetersaurem Silberoxyd nur noch eine ganz schwache Opalisirung erzeugten. Das gänzliche Verschwinden dieser Reaction des Waschwassers ist beim Auswaschen des Stafsurtit niemals zu erreichen, da derselbe in Wasser nicht absolut unlöslich ist.

Daß Borsäure in Lösung geht, ist leicht nachzuweisen, wenn man etwa 100 CC. der letzten Waschwasser in einer Porzellanschale zur Trocknifs dampft, den Rückstand mit einigen Tropfen Schwefelsäure versetzt, Alkohol hinzufügt und denselben anzündet, worauf die charakteristische grüne Borsäurefärbung der Weingeistflamme erscheint.

Um das Verhalten des solchergestalt ausgewaschenen Stafsurtit beim Glühen für sich im Platintiegel kennen zu lernen, wurden 1,3564 Grm. Substanz anfangs bis zum beginnenden Rothglühen des Tiegels und später bei der höchsten Hitze, welche mit einer Berzeliuslampe hervorzubringen ist, längere Zeit geglüht. Es ergaben sich hierbei folgende Resultate:

Vor dem Glühen wog die bei 110° getrocknete Substanz im Tiegel:	20,7944	
Nach $\frac{1}{2}$ stünd. Erhitzen bis zur beginnenden Rothgluth wog das Ganze	20,7934	Verlust also: 0,001 Gr. = 0,0737 Proc.
Nach fernerer $\frac{1}{2}$ stünd. schwacher Erhitzung	20,7932	0,0012 » = 0,0884 »
Nach $\frac{1}{2}$ stünd. stärkstem Rothglühen	20,7626	0,0318 » = 2,3444 »
desgl.	20,7456	0,0188 » = 3,5977 »
desgl.	20,7308	0,0636 » = 4,6888 »
desgl.	20,7142	0,0802 » = 5,9127 »
desgl.	20,7033	0,0911 » = 6,7089 »
desgl.	20,6910	0,1034 » = 7,6231 »
Nach 1 stünd. stärkstem Rothglühen	20,6820	0,1124 » = 8,2866 »
desgl.	20,6788	0,1156 » = 8,5225 »
desgl.	20,6628	0,1316 » = 9,7021 »

Aus diesen Resultaten geht hervor, daß der ausgewaschene Stafsurtit erst bei der stärksten Rothglühhitze einen wesentlichen Verlust erleidet.

Da neben der Verwandelung des Chlormagnesiums im Magnesia auch eine Verflüchtigung von Borsäure stattfand, welche sich als ein weißer Anflug an der inneren Seite des Platindeckels abgesetzt hatte und die Borsäurereaction mit Curcumapapier zu erkennen gab, so hätten durch weitere Fortsetzung dieser Versuchsreihe noch höhere Verlustprocente nachgewiesen werden können, was aber ohne Interesse war. Der geglühte Stassfurtit hatte seine weiße Farbe unverändert beibehalten, war jedoch etwas zusammengebacken.

Um nun bei der Wasserbestimmung und der dazu erforderlichen Erhitzung des Stassfurtit die Entweichung des Chlors und der Borsäure zu verhindern, wurde derselbe mit frisch ausgeglühtem Bleioxyd gemengt. In Betreff der Bereitung des geglühten Bleioxyds ist zu erwähnen, daß das käufliche mit nicht unbedeutenden Mengen Kohlensäure behaftete Bleioxyd zuerst fein aufgerieben und dann in kleinen Portionen im Platintiegel bei stetem Umwenden einer starken Rothglühhitze ausgesetzt wurde, so daß das feine Pulver in zusammengesinterten Massen resultirte, welche sofort nach der Erkaltung im Achatmörser fein gerieben und bis zur Verwendung beständig unter dem Exsiccator aufbewahrt wurden. Trotz dieser sorgfältigen Bereitung erwies sich das Bleioxyd bei einer Vorprüfung doch nicht vollständig frei von allen flüchtigen Bestandtheilen, indem 1,9623 Gr. bei 110° getrocknetes Bleioxyd nach dem Glühen bis zur erfolgten Schmelzung einen Gewichtsverlust von 0,0051 Gr. = 0,26 Proc. erlitten.

Es ist dieses Umstandes an dieser Stelle deshalb besonders Erwähnung gethan, weil hierdurch ersichtlich wird, zu welchen irrigen Resultaten die Wasserbestimmung auf indirectem Wege durch Bestimmung des Gewichtsverlustes des mit ausgeglühtem Bleioxyd gemengten Stassfurtit führen kann.

Behufs Ausführung der Wasserbestimmung wurde folgende Vorkehrung getroffen: ein Aspirator führte einen Luftstrom zur Trocknung der Luft durch eine Schwefel-

säureflasche und ein U-förmiges Chlorcalciumrohr, woran sich eine Kugelhöhre anschloß, die zur Aufnahme der zu untersuchenden Substanz bestimmt war. Mit der Kugelhöhre stand unmittelbar das zur Aufnahme des aus dem Stäfsfurtit auszutreibenden Wassers bestimmte und gewogene Chlorcalciumrohr in Verbindung, worauf der Aspirator das Ganze beschloß. Da die in die Kugelhöhre eingebrachte Substanz zunächst bei 120° C. getrocknet werden mußte, so war ein Trockenapparat gewöhnlicher Construction zur Aufnahme der Kugelhöhre hergerichtet, so daß während der Erhitzung des Trockenapparates ein constanter trockner Luftstrom durch die Kugelhöhre geleitet werden konnte.

Obgleich der so zusammengesetzte Apparat sich als vollkommen luftdicht erwies, so wurde dennoch vor Beginn der Versuche zur Beseitigung des Bedenkens, daß die durch den Apparat streichende Luft nicht vollkommen wasserfrei sey, während mehrerer Stunden Luft durch den Apparat geleitet. Nach Beendigung dieses Vorversuches hatte die zuvor gewogene Chlorcalciumröhre nicht um $\frac{1}{10}$ Milligramm. zugenommen, so daß hierdurch die vollständige Trockenheit der Luft bewiesen war.

Da eine innige Menge des Stäfsfurtit mit dem ausgeglühten Bleioxyd innerhalb der Kugelhöhre nicht ausführbar war, so wurde zunächst ein inniges Gemisch beider Substanzen im größeren Maaßstabe dargestellt, indem abgewogene Quantitäten beider Körper im Achatmörser durcheinander gerieben wurden, bis sich durchaus keine weißen Stäfsfurtitmassen vom gelben Bleioxyd unterscheiden ließen. Dieses beständig unter dem Exsiccator aufbewahrte Gemisch war das Material der Untersuchung und bestand aus:

7,0198 Grm. Stäfsfurtit
45,9923 Grm. Bleioxyd
<hr/> 53,0121 Grm. in Summa

oder aus:

13,2418 Proc. Stäfsfurtit
86,7581 Proc. Bleioxyd

Nachdem von diesem Gemisch in die zuvor gewogene Kugelhöhre, deren Gummiröhrenverbindungen ebenso wie die der Chlorcalciumröhre während der Wägung durch kleine Glasstäbchen geschlossen wurden, eingetragen und selbiges bei 120° C. bis zur Uebereinstimmung zweier Wägungen getrocknet war, begann der eigentliche Versuch: durch allmähliche Erhitzung bis zur Schmelzung des Inhalts der Kugelhöhre das Wasser des Stafsurtit zu entbinden und durch einen langsamen trocknen Luftstrom in die gewogene Chlorcalciumröhre überzuführen.

Beim *ersten Versuch* betrug das in der Kugelhöhre bei 120° C. getrocknete Gemisch von Stafsurtit und Bleioxyd 10,3542 Gr. worin 13,2418 Proc. = 1,3711 Gr. Stafsurtit. Bevor das Bleioxyd die ihm beim Erhitzen charakteristische braune Farbe angenommen hatte, war ein schwacher Anflug von Wasser in dem zum Chlorcalcium führenden Theil der Kugelhöhre bemerkbar; dieser Umstand bewies, daß schon unter der Rotglühhitze Wasser aus dem bei 120° C. getrockneten Gemisch ausgetrieben wurde und gab Veranlassung, bei den folgenden Versuchen die Substanz vor der Schmelzung bei verschiedenen Temperaturen zwischen 120° und 250° zu erhitzen, um festzustellen, welche Quantitäten Wasser unter 250° aus dem Stafsurtit ausgetrieben werden können.

Nachdem der Inhalt der Kugelhöhre bei diesem Versuch geschmolzen war, zeigte sich in dem zum Chlorcalciumrohr führenden Theil der Kugelhöhre in unmittelbarer Nähe der Kugel ein weißer sehr schwer flüchtiger ringförmiger Anflug, welcher wegen seiner geringen Masse nicht näher untersucht werden konnte und wahrscheinlich aus Borsäure bestand. Die Gewichtszunahme des Chlorcalciumrohrs betrug 0,0083 Gr. also auf 1,3711 Gr. Stafsurtit:
= 0,6053 Proc. Wasser.

Zu bemerken ist, daß bei diesem wie den folgenden Versuchen die Kugel trotz des vorsichtigsten allmählichen Erkaltes ihres Inhaltes nach der Schmelzung nicht vor dem Zerspringen bewahrt werden konnte, so daß eine den

Gewichtsverlust des Gemisches nach der Schmelzung angegebene Wägung der Kugelhöhre nicht mit Sicherheit auszuführen war.

Bei den folgenden Versuchen, deren Resultate der Uebersichtlichkeit wegen tabellarisch zusammengestellt sind, wurde das Gemisch, nachdem es bei 120° C. in der Kugelhöhre getrocknet war, 1½ Stunden bei den Temperaturen von 150°, 185°, 220°, und 250° C. im Trockenapparat unter beständiger Ueberleitung eines langsamen Stroms trockener Luft erhitzt und dann erst geschmolzen.

Da die Versuche I bis IV mit einem Gemenge angestellt wurden; in welchem sich Mineralsubstanz von einer größeren Stäfsfurtitknolle befand, so wurde, um auch ein anderes Stück Mineral in gleicher Weise zu untersuchen, eine neue Menge Stäfsfurtit im natürlichen Zustande ausgewaschen und ebenso nach dem Trocknen mit ausgeglühtem Bleioxyd gemengt, wie weiter oben beschrieben worden.

Dieses Gemisch bestand aus:

0,8336 Grm. ausgewasch. Stäfsfurtit
und 4,3882 Grm. Bleioxyd
5,2218 Grm. in Summa

und enthält 15,9638 Proc. Stäfsfurtit.

Die Resultate waren folgende:

Bezeichnung des Versuchs	Angewendete Menge des Gemisches von ausgewaschenem Stäfsfurtit und Bleioxyd	Absolute Menge des ausgewaschenen Stäfsfurtit	Aus dem bei 120° getrockneten Gemenge wurde Wasser ausgetrieben, berechnet in Procenten auf die zum Versuch angewendete Menge ausgewaschenen Stäfsfurtit, bei					
			150° C.	185° C.	220° C.	250° C.	nach der Schmelzung	in Summa
	Gr.	Gr.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
I	10,3542	1,3711	—	—	—	—	0,6053	0,6053
II	9,958	1,3186	0	0,3033	0,0455	0,1365	0,1061	0,5915
III	8,0611	1,0674	0	0,3374	0	0,1030	0,1498	0,5902
IV	7,2234	0,9565	0	0,1359	0,3032	0,0418	0,1045	0,5854
V	5,149	0,822	0	0,1460	0,3644	0	0,1216	0,6326
Durchschnitt							0,1205	0,601

Die übereinstimmenden Resultate vorstehender Versuche beweisen, daß der bei 120° getrocknete und ausgewaschene

Staßfurtit noch etwas Wasser enthält, wie dies ein qualitativer Versuch auch leicht beweist, und daß dieses Wasser im Gesamtbetrage von 0,601 Proc. zum größten Theil (0,481 Proc.) zwischen 200 bis 250° C. ausgetrieben werden kann, während das zwischen 250° C. bis zur Schmelzung des Gemenges entweichende Wasser im Mittel der vier letzten Versuche nur 0,1205 Proc. beträgt. Da aber 1 Aeq. chemisch gebundenes Wasser im Staßfurtit nach der Formel



2 Proc. Wasser erfordert und die im Staßfurtit vorhandenen 0,601 Proc. Wasser zum größten Theil bei 250° C. entbunden werden, so liegt die Erklärung nahe, daß jene 0,601 Proc. Wasser durch Einschluss von Mutterlauge in den mikroskopischen prismatischen Kryställchen, aus welchen, wie schon G. Rose bemerkt, der Staßfurtit besteht, beim Auswaschen zurückgehalten werden.

Daß das zwischen Krystalllamellen eingeschlossene Mutterlaugenwasser, als welches die im Staßfurtit enthaltenen 0,601 Proc. Wasser anzusprechen seyn dürften, erst bei sehr hoher Temperatur ausgetrieben wird, beweist das in den Kochsalzkrystallen sehr energisch zurückgehaltene Decrepitationswasser, welches nach Bischof (siehe Karsten's Archiv Bd. 23, S. 619) erst bei 180 bis 200° R. ausgetrieben wird.

Berücksichtigt man schliesslich den Umstand, daß auch der krystallisirte, von allen Gyps sorgfältig befreite Lüneburger Boracit geringe Mengen Wasser enthält, wie Hr. Prof. Heintz im Februarheft S. 109 der Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften angiebt, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, daß eine Verschiedenheit in der chemischen Constitution zwischen dem ausgewaschenen Staßfurtit und dem Lüneburger Boracit nicht besteht und ersterer als eine dimorphe Form des Boracit anzusehen ist.

Eisleben, 27. Jan. 1865.

V. Ueber die Bestimmung der Kohlensäure im Leuchtgase; von Fr. Rüdorff.

Bei einigen Versuchen, welche ich mit dem Leuchtgase anstellte, war es mir wünschenswerth den Kohlensäuregehalt desselben mit einiger Genauigkeit zu bestimmen. Da sich die sonst wohl zu diesem Zweck gebräuchlichen Methoden als unzuverlässig herausstellten und da mir der zu gasometrischen Bestimmungen dienende Bunsen'sche Apparat nicht zu Gebote stand, so war ich genöthigt mich nach einem andern zweckentsprechenden Wege umzusehen. Folgende Methode hat mich zum Ziele geführt und dürfte dieselbe überall da Anwendung finden, wo es sich darum handelt kleine Mengen Kohlensäure in einem Gasgemenge auf sichere und wenig umständliche Weise zu bestimmen.

Das Princip der Methode besteht darin, daß ich die Kohlensäure durch concentrirte Kalilauge absorbiren lasse und die verschwundene Kohlensäure durch ein gleiches Volumen Kalilauge ersetze. Der Apparat, dessen ich mich zu diesem Zwecke bediente, besteht aus einem dreihalsigen Glasgefäße *GG* Fig. 1 Taf. I. In dem ersten Tubulus ist ein mit Indigolösung gefülltes Manometer *M* mit Millimeter-scale befestigt, um den im Gefäße *GG* stattfindenden Druck ablesen zu können. Der zweite Tubulus ist mit doppelt durchbohrtem Kork verschlossen, durch welchen zwei mit Hähnen versehene Glasröhren führen, um den Apparat mit dem zu untersuchenden Gase zu füllen. Der dritte Tubulus enthält eine in Cubikcentimeter getheilte Hahnpipette *P*, die mit Kalilauge gefüllt wurde. Um den Einfluß der Temperaturveränderungen zu beseitigen, wurde das Glasgefäße mit Wasser von der Temperatur des Zimmers umgeben. Durch vorläufig angestellte Versuche überzeugte ich mich, daß ein in dem umgebenden Wasser und ein im Innern angebrachtes Thermometer nach höchstens 3 Minuten denselben Stand annahmen, und das im Wasser befind-

liche Thermometer gab die Gewißheit, daß sich die Temperatur desselben während der Dauer eines Versuches nicht geändert hatte. Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, daß der Apparat völlig luftdicht war, wie man leicht an dem unveränderten Stande des Manometers *M*, mochte die Luft in dem Apparate etwas verdichtet oder verdünnt seyn, sehen konnte.

Der Inhalt des Glasgefäßes wurde durch Wägen desselben mit und ohne Wasser bestimmt und zu 880 CC. gefunden. Nachdem der Apparat durch längeres Durchleiten mit dem kohlen säurehaltigen Gase gefüllt war, wurden die Hähne geschlossen und zwar der Hahn am Ableitungsröhr zuerst, dann der am Zuleitungsröhr, so daß das Gas sich unter einem den Atmosphärendruck wenig überragenden Druck befand. Als die Temperatur des Gases und des umgebenden Wassers nach 3 bis 4 Minuten dieselbe geworden war, wurde der eine Hahn für einen Augenblick geöffnet, um soviel Gas ausströmen zu lassen, daß der Druck im Innern gleich dem der Atmosphäre wurde; das gleiche Niveau der Flüssigkeit im Manometer zeigte; daß dieß der Fall war. Darauf wurden durch vorsichtiges Oeffnen des Hahnes aus der Pipette einige Tropfen Kalilauge in das Gefäß *GG* gelassen. Im ersten Augenblick stieg der Druck im Innern durch die zugelassene Flüssigkeit, verminderte sich aber sehr bald, da die Kohlensäure absorbiert wurde, wie dieses aus dem Stande des Manometers zu sehen war. In dem Maasse, wie die Absorption der Kohlensäure voranschritt, wurde neue Kalilauge zugelassen, so daß die Flüssigkeit im Manometer auf fast gleicher Höhe gehalten wurde. Gegen Ende des Versuchs wurde einige Minuten gewartet und der verminderte Druck durch zugelassene Kalilauge wieder hergestellt. Die absorbierte Kohlensäure war also durch Kalilauge ersetzt und das Volumen derselben konnte an der Pipette abgelesen werden.

Um mir ein Urtheil über den Grad der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Methode zu verschaffen, füllte ich den Apparat mit einem Gemenge von Wasserstoff und Kohlen-

säure von bekanntem Gehalt. Die Mischung dieser Gase geschah in einem Glockengasometer, wie solches wohl zur Bestimmung des specifischen Gewichtes des Leuchtgases durch Messung der Ausflugschwindigkeit benutzt wird. Durch das Sinken der Glocke wird durch in einander greifende Räder ein Zeiger in Bewegung gesetzt, an welchem man sehr kleine Bruchtheile des Inhalts der Glocke messen kann. Man liest $\frac{1}{3800}$ Cubikfuß direct ab. Da der Inhalt des Gefäßes GG 880 CC. betrug, so waren für ein Gasgemenge, welches 1, 2, 3 etc. Proc. Kohlensäure enthielt, 1, 2, 3... $\times 8,8$ CC. Kalilauge erforderlich um die absorbirte Kohlensäure durch diese Flüssigkeit zu ersetzen. Die folgende Tabelle enthält einige der angestellten Messungen. Die Columnne I enthält den Procentgehalt an Kohlensäure, II die verbrauchte und III die berechnete Menge Kalilauge.

I.	II.	III.
1 Proc. CO ²	8,7 CC.	8,8 CC.
2 " "	17,8 "	17,6 "
3 " "	26,8 "	26,4 "
4 " "	35,1 "	35,2 "

Es leuchtet ein, daß der Apparat nur anwendbar ist, wenn es sich um die Bestimmung kleiner Mengen Kohlensäure in einem Gasgemenge handelt, wie es ja bei unserm Leuchtgase der Fall ist. Daß die andern Bestandtheile des Leuchtgases von keinem merklichen Einfluß auf die Bestimmung der Kohlensäure sind, davon habe ich mich durch directe Versuche überzeugt, indem ich zu vollständig von Kohlensäure befreitem Leuchtgase, kleine Mengen Kohlensäure hinzusetzte, die gefundenen und berechneten Mengen stimmten ebenso befriedigend, wie in dem obigen Beispiel.

Was nun einige hinter einander ausgeführten Messungen der Kohlensäure im Leuchtgase selbst betrifft, so erhielt ich Werthe, welche nur um ein sehr Geringes von einander abweichen. In drei Versuchen gebrauchte ich folgende Mengen Kalilauge, welchen der nebenstehende Procentgehalt an Kohlensäure entspricht:

12,0 CC. Kali = 1,36 Proc. CO²

12,1 " " = 1,37 " "

11,8 " " = 1,34 " "

Die mitgetheilten Messungen zeigen wohl hinreichend die Genauigkeit der Methode, die sich außerdem noch durch leichte und rasche Ausführung empfiehlt.

VI. Ueber mehrere Verbindungen des fünffach Chlorantimons; von Rudolph Weber.

Das Antimonsuperchlorid, die der Antimonsäure entsprechende Chlorverbindung dieses Metalls, läßt sich direct mit mehreren Körpern zu Verbindungen vereinigen, welche zum Theil krystallisirt und beständiger als das genannte Superchlorid sind. H. Röse ¹⁾ beschrieb eine Verbindung desselben mit Chlorschwefel; Klein ²⁾ zeigte, daß das Chlorid mit Blausäure und Chloreyan sich verbinden kann, der Verf. ³⁾ stellte eine Verbindung des fünffach Chlorantimons mit chlorsalpetriger Säure dar.

Die nachstehend beschriebenen Körper bestehen aus Verbindungen des fünffach Chlorantimons mit Chlorphosphor, Phosphoroxychlorid, Chlorselen, Chlorschwefel und Wasser.

Fünffach Chlorantimon-Chlorphosphor.

Diese Verbindung entsteht, wenn man dreifach Chlorantimon mit einem Ueberschusse von fünffach Chlorphosphor erhitzt. Das Phosphorsuperchlorid verbindet sich nicht mit dem Antimonchloride, sondern giebt an dasselbe Chlor

1) Pogg. Ann. Bd. 42, S. 532.

2) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 74, S. 85.

3) Pogg. Ann. Bd. 123, S. 347.

ab, es destillirt dreifach Chlorphosphor über und das dabei entstandene Antimonsuperchlorid vereinigt sich mit unverändertem fünffach Chlorphosphor zu einem gelben Körper, welcher, da er sich schwerer verflüchtigt als die Verbindungen aus denen er entstanden ist, sich von einem Ueberschuss derselben durch Erhitzen leicht isoliren lässt. Die von den flüchtigeren Gemengtheilen befreite Verbindung der Chloride verbleibt in dem Glasrohre als eine sehr poröse, schwammige, gelbe Masse; sie zieht an der Luft liegend schnell Wasser an, ist nicht schmelzbar, verflüchtigt sich aber beim stärkeren Erhitzen.

Dieselbe Verbindung wird erhalten, wenn man fünffach Chlorphosphor und Antimonsuperchlorid vermischt und bis zur Verflüchtigung des überschüssig zugefügten Chlorids das Gemenge erhitzt.

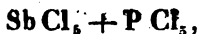
Behufs der Analyse wurde eine gewogene Menge der Substanz in Weinsteinsäure enthaltendem Wasser aufgelöst, aus der Lösung das Antimon durch Schwefelwasserstoff gefällt, darauf nach Beseitigung des überschüssigen Gases das Chlor durch Silberlösung niedergeschlagen und aus der vom Silber befreiten Flüssigkeit die Phosphorsäure durch Magnesiamixtur abgeschieden. Es ergaben sich folgende Resultate:

Substanz,	Schwefelantimon,	Chlorsilber,	phosphors. Magnesia.
1,527	0,616	4,284	0,350
0,735	0,293	2,100	0,163
1,952	0,800	5,570	0,432
1,416	0,577	3,951	0,304

Hiernach berechnet sich die procentische Zusammensetzung dieser Substanz folgendermaßen:

Antimon:	24,20	23,92	24,63	24,45
Chlor:	69,20	70,47	70,38	68,82
Phosphor:	6,42	6,21	6,18	6,01
	<u>99,82</u>	<u>100,60</u>	<u>101,19</u>	<u>99,28</u>

Diese Zahlenwerthe führen zu der Formel:



welche erfordert:

Antimon	23,72
Chlor	70,11
Phosphor	6,17
	<u>100,00.</u>

Fünffach Chlorantimon-Phosphoroxychlorid.

Phosphorchlorid verbindet sich mit dem Antimonsuperchloride zu einer weissen, krystallinischen, an der Luft zerfließlichen Substanz, wenn man die genannten Körper vermischt. Möglichst rein erhält man diese Verbindung, wenn man zu dem Antimonsuperchloride das Phosphoroxychlorid im Ueberschuß fügt und dann die sich ausscheidende, von letzterer Flüssigkeit durchtränkte Masse auf einen getrockneten Ziegelstein unter eine Glocke neben Schwefelsäure und Kalk bringt, woselbst das überschüssige Phosphoroxychlorid durch Eindringen in den Stein und durch Verdunsten entfernt wird.

Die Untersuchung dieser Substanz wurde genau wie die der eben beschriebenen durchgeführt; es ergaben sich folgende Zahlenwerthe:

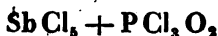
Substanz,	Schwefelantimon,	Chlorsilber,	Phosphor.	Magnesia.
1,412	0,593	3,586	0,385	
1,357	0,565	3,433	0,370	
1,460	0,610	3,640	0,397	
1,567	0,660	3,875	0,418	

Auf 100 Theile der Verbindung kommen hiernach:

Antimon:	25,02	24,98	25,07	25,25
Chlor:	62,65	62,41	61,50	61,40
Phosphor:	7,63	7,62	7,61	7,46.

Der Rest ist Sauerstoff.

Die Zusammensetzung dieses Körpers wird durch die Formel:



ausgedrückt, nach welcher sich die Menge der in derselben enthaltenen Elemente berechnet:

Antimon	26,62
Chlor	62,91
Phosphor	6,92
Sauerstoff	3,55
	<hr/> 100,00

Antimonsuperchlorid - Chlorselen.

Diese Verbindung läßt sich schwieriger als die eben beschriebenen im reinen Zustande darstellen. Nach vielen Versuchen erwies sich folgender Weg als der geeignetste: Man vereinigt zunächst, indem man auf schmelzendes Antimon Selen wirkt, beide Körper in dem Verhältniß, daß auf 2 Aequiv. Selen etwas mehr als 1 Aequiv. Antimon kommt und unterwirft die erkaltete Masse, welche als ein Gemisch von dreifach Selenantimon mit Antimonmetall zu betrachten ist, in einem Kölbchen der Einwirkung von trockenem Chlor. Durch geeigneten Verschluss wird die Feuchtigkeit der Luft abgehalten. Es erzeugt sich zuerst eine braune Flüssigkeit, welche unter fortgesetzter Einwirkung des Chlors in eine weißliche, an der Luft rauchende Masse sich verwandelt. Dieselbe enthält die in Rede stehende Verbindung neben unverbundenem Antimonsuperchlorid. Um letzteres abzusondern, wird die Masse auf einen Ziegelnstein gelegt und mit diesem unter eine Glocke neben Schwefelsäure gebracht. Das unverbundene Chlorantimon wird von dem porösen Steine aufgenommen.

Die Verbindung bildet ein gelblichweißes, trocknes Pulver, welches an der Luft äußerst rasch zerfließt, in Wasser sofort sich auflöst. Es ist nicht unzersetzlich und läßt sich, wenn bei der Darstellung desselben Selen im Ueberschuß angewendet wurde, von dem beigemischten Chlorselen nicht trennen.

Die Analyse dieser Substanz erfolgte der Art, daß aus der mit Weinsteinsäure-haltigem Wasser erzeugten, mit etwas Salzsäure versetzten Auflösung derselben das Selen durch schwefligsaures Ammoniak abgeschieden, darauf das Antimon, nachdem die schweflige Säure durch Kochen ent-

fernt worden, als Schwefelantimon gefällt wurde. Zur Ermittlung des Chlorgehalts wurde aus der nur Weinsäure enthaltenden Lösung Antimon und Selen durch Schwefelwasserstoff beseitigt und sodann das Chlor als Chlorsilber gefällt. Folgende Versuchsergebnisse wurden erhalten:

Substanz,	Selen,	Schwefelantimon.
1,003	0,149	0,394
0,976	0,143	0,400

Substanz,	Chlorsilber.
1,210	3,001
1,370	3,420

Hiernach kommen auf 100 Theile der Verbindung:

Selen	14,85	14,65
Antimon	23,56	24,56
Chlor	61,16	61,59

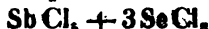
welche Zahlenwerthe zu der Formel:



führen, nach der die Zusammensetzung der Verbindung sich folgendermaßen berechnet:

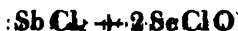
Selen	15,15
Antimon	23,20
Chlor	61,65
	<hr/> 100,00

Als ich die Untersuchung dieser Verbindung aufnahm, vermuthete ich, daß in derselben auf 1 Äquivalent Sb Cl_2 , 3 Äquiv. Se Cl_2 gebunden seyen, denn das dreifach Selenantimon, welches beiläufig bemerkt, sehr leicht sich bildet, wenn beide Bestandtheile in entsprechenden Gewichtsverhältnissen zusammengeschmolzen werden, und welches dem geschmolzenen Schwefelantimon täuschend ähnlich ist, erzeugt mit Chlor behandelt eine pulverförmige, homogene Masse, in der natürlich Antimon und Selen im Äquivalentverhältnisse 1:3 enthalten sind. Zweifel darüber, daß der hierbei erzeugte Körper nicht eine nach der Formel:



zusammengesetzte Verbindung, sondern nur ein Gemisch von Chlorselen mit

$\text{SbCl}_3 + 2 \text{SeCl}_4$
 sey, entstanden, als für eine Verbindung von Selenachlorid mit Antimonsuperchlorid: (ein Glied aus einer Reihe von Körpern, über die im folgenden Hefte Näheres mitgetheilt werden wird) welche sich leichter als die in Rede stehende Verbindung im reinen Zustande darstellen läßt, sich die Formel:



ergab. In der That erwies sich dann auch, daß das Antimonsuperchlorid nur 2 Aequiv. Selenchlorid zurückhält, wenn man die Verbindung wie oben erwähnt darstellt, das Antimon unverhalten läßt und das nicht gebundene Antimonsuperchlorid nach dem mitgetheilten Verfahren von der Verbindung trennt.

Antimonsuperchlorid - Chlorschwefel.

H. Rose¹⁾ theilt mit, daß dreifach Schwefelantimon in einem Strome von Chlor erwärmt, sich zuerst in eine braune Flüssigkeit und dann in ein weißes Pulver verwandelt, dessen Zusammensetzung er durch die Formel:



ausdrückt.

Diese Formel weicht von denjenigen, welche die Zusammensetzung der erwähnten Selenverbindungen ausdrücken, ab, ein Umstand, welcher die Wiederholung der Untersuchung über das Verhalten des Chlors zum dreifach Schwefelantimon wünschenswerth erscheinend ließ. Ich habe Versuche über die Einwirkung des Chlors auf das genannte Schwefelmetall ausgeführt und bin zu folgenden Resultaten gelangt:

Wenn man auf reines in einer Kugelhöhle befindliches Schwefelantimon getrocknetes Chlor wirken läßt, so entsteht zunächst durch Absorption des Chlors eine braune Flüssigkeit, welche später in einen weißlichen, festen Körper sich verwandelt. Hierbei erzeugt sich aber freier Chlor-

1) Pogg. Ann. Bd. 4 S. 582.

schwefel, welcher von dem Chlor theilweise aus der Kugel verflüchtigt, im Rohre abgesetzt, zum Theile aber von der erzeugten festen Verbindung aufgesogen wird. Namentlich erscheint die Partie der Verbindung, welche an der Ausgangsöffnung der Kugel sich befindet, von freiem Chlorschwefel durchfeuchtet. H. Rose bemerkt, daß bei Einwirkung des Chlors auf das Schwefelantimon stets etwas Chlorschwefel und auch Chlorantimon sich verflüchtigt, und daher 177 Th. Schwefelantimon nicht 566 Th., sondern nur 493 der Verbindung liefern. Er sah den freien Chlorschwefel als ein Zersetzungsproduct der Verbindung an.

Wenn man, nachdem sowohl Antimon als Schwefel in Chloride verwandelt worden sind, das Chlor noch weiter auf die Masse wirken läßt, dabei gelinde erwärmt; die Substanz durch Schütteln der Kugelhöhre zerkleinert, so wird der Inhalt heller und bildet schließlicb kein am Glase haftendes, sondern ein trocknes Pulver. Dieses ist die nun von beigemischtem Chlorschwefel befreite Verbindung. Dieselbe wird vom Wasser heftig zersetzt; sie löst sich in verdünnter Salpetersäure ohne Ausscheidung von Schwefel. Zur Analyse derselben wurde eine gewogene Menge mit verdünnter Salpetersäure vorsichtig zersetzt. Wegen der heftigen Wirkung der Säure auf die Substanz darf man das die Probe enthaltende Glasröhrchen nicht in die Flüssigkeit legen, sondern man muß es mit der Oeffnung unter dieselbe tauchen, und die Substanz in kleinen Partien nur in die Säure gelangen lassen. Aus der erhaltenen Lösung wird in bekannter Weise entweder Antimon und Chlor, oder Schwefel bestimmt. Es ergaben:

Substanz,	Schwefelantimon,	Chlorsilber.
1,144	0,510	3,068
1,240	0,533	3,370
	schwefels. Baryt.	
1,285	0,633	
1,237	0,612	

wonach die procentische Zusammensetzung sich folgendermaßen berechnet:

	I.	II.
Antimon	26,74	25,88
Schwefel	6,80	6,93
Chlor	66,60	67,03
	<u>100,14</u>	<u>99,84</u>

Die beiden zur Analyse verwendeten Producte wurden vermittelst verschiedener Proben von Schwefelantimon bereitet.

Vergleicht man diese Werthe mit denen, welche beziehlich nach den beiden Formeln:

	$\text{SbCl}_3 + 2\text{SCl}_2$	$\text{SbCl}_3 + 3\text{SCl}_2$
Antimon	25,46	21,51
Schwefel	6,80	6,61
Chlor	67,73	69,88
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

berechnet sind, so erhellet, daß die gefundenen Werthe mit der nach der Formel:



berechneten sehr nahe übereinstimmen, und daß daher diese Formel die Zusammensetzung der Verbindung ausdrückt. Am sichersten leitet der entsprechend größere Antimongehalt zu jener Formel.

Es ist zu bemerken, daß auch die von H. Rose mitgetheilten Zahlen:

	H. Rose.
Antimon	25,67
Schwefel	7,63
Chlor	66,70
	<u>100,00</u>

mehr für diese Formel, als für die von ihm angenommene sprechen.

Der von ihm etwas größer ermittelte Gehalt an Schwefel erklärt sich leicht daraus, daß noch eine kleine Menge von freiem Chlorschwefel, der sich, wie bemerkt, durch längeres Ueberleiten von Chlor und gelindes Erwärmen entfernen läßt, der Verbindung anhaftete.

Somit drücken analoge Formeln die Zusammensetzung

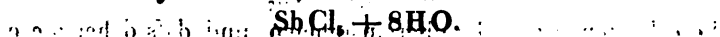
der Verbindungen des Antimonsuperchlorids mit Selenchlorid, Selenacichlorid und Chlorschwefel aus.

Antimonsuperchloridhydrat.

Wird Antimonsuperchlorid mit wenig Wasser zusammengebracht, so bildet sich ein krystallinisches Hydrat:

Man erhält das Hydrat dieses Chlorids im reinen Zustande, wenn man dasselbe mit so viel Wasser vermischt, als eben nöthig ist um es aufzulösen, dann die ölige Flüssigkeit unter eine Glocke neben Schwefelsäure bringt. Es bilden sich in der Lösung nach einiger Zeit Krystalle; man stößt die erzeugte Decke durch, damit der Ueberschuss des Wassers leichter verdunsten kann. Die Krystalle des Hydrats werden erst nach längerer Zeit in dem trocknen Luftraum oberflächlich trübe, sie lösen sich in wenig Wasser unzersetzt, schießen aus der Lösung im trocknen Raum wieder an. Sie zerfliessen an der Luft sehr bald.

Die Analyse derselben leitet zu der Formel



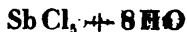
Die Proben der Substanz No. I waren durch Verdunsten der Lösung des Superchlorids in Wasser, No. II durch Wiederauflösen von I und abermaliges Krystallisiren erhalten worden. Die Untersuchung erfolgte durch Ermittlung des Gehaltes der Substanz an Antimon und Chlor. Es ergaben:

	Substanz,	Schwefelantimon,	Chlorsilber.
I.	1,706	0,938	3,253
	1,776	0,975	3,383
II.	1,315	0,718	2,500
	1,346	0,725	2,561

Hieraus folgt, daß 100 Th. der Verbindung enthalten:

	Antimon.	Chlor.
I.	32,99	47,04
II.	32,94	47,00
	32,76	46,90
	32,82	46,93

dieselbe also der Formel:



entspricht, welche erfordert:

Antimon	32,50
Chlor	48,00
Wasser	19,50
	<hr/> 100,00.

Diese Werthe sind von den gefundenen nur wenig verschieden.

Das dreifach Chlorantimon bildet unter ähnlichen Umständen kein Hydrat. Wenig Wasser wird von diesem Chloride aufgenommen, ohne daß die Masse sich trübt; durch eine größere Portion Wasser tritt bekanntlich Zersetzung ein. Wird Chlorantimon, dem man bereits so viel Wasser zugesetzt hat, daß eine Trübung eingetreten ist, neben Schwefelsäure unter eine Glocke gebracht, so wird die Masse in dem Maße, als Wasser verdunstet, wieder klarer; es scheidet sich schließlich durchsichtige Krystalle aus, welche indessen kein Hydrat, sondern reines Chlorid sind. Die Analyse derselben ergab nämlich:

Substanz.	Schwefelantimon,	Chlorsilber.
1,360	1,021	2,520
1,631	1,210	3,040

woraus die procentische Zusammensetzung der Formel:

	Sb Cl_3	
Antimon	53,70	53,00
Chlor	45,71	45,97
	<hr/> 99,41	<hr/> 98,97

entsprechend, folgt.

Ein Antimonchloridhydrat läßt sich auf diesem Wege nicht darstellen.

VII. Ueber das Farbensehen und die Theorie der Mischfarben; von C. Bohn.

Es darf als eine der bestbewiesenen Meinungen angesehen werden, daß die Zäpfchen der Netzhaut die letzten licht-

empfindenden Elemente sind. Die Reizbarkeit der Netzhaut ist am größten im gelben Fleck, wo ausschliesslich Zäpfchen vorhanden sind, sie ist geringer, dort, wo die Zäpfchen weniger dicht stehen, sie ist Null auf dem blinden Fleck, wo kein Zäpfchen auftritt. Der entscheidende Beweis für die Richtigkeit dieser Meinung ist jedoch erst durch Messungen herbeigeführt worden. Kölliker hat den Durchmesser der Zäpfchen im gelben Fleck zu 0,0043 bis 0,0054^{mm} bestimmt, während die Stäbchen, von demselben Forscher nur ein Drittel so dick gefunden wurden. Andererseits hat man untersucht, wie nahe zwei Lichtreize auf der Netzhaut bei einander liegen dürfen, so dass doch noch die Empfindungen gesondert bleiben, nicht zusammenfließen, indem man den kleinsten Winkelabstand zweier Punkte (Doppelsterne), welche gerade noch als zwei unterscheidbar sind, ermittelte, dann die Entfernung der Durchschnittspunkte der Schenkel dieses minimalen, mit seinem Scheitel in den hinteren Knotenpunkt des Auges gelegten Winkels, mit der Netzhaut berechnete. Man fand sie zu 0,00438 bis 0,00526^{mm}, also genau Kölliker's Zahlen für die Durchmesser der Zäpfchen (vergl. Helmholtz, physiologische Optik, S. 216). Damit aber zwei leuchtende Punkte als zwei erkannt werden, müssen wir die Discontinuität des Reizes empfinden, das heisst, es muß zwischen den gereizten Nerven-elementen mindestens ein ungereiztes liegen. Vorstehende Zahlen, zusammen mit den andern Gründen sagen also aus, dass diese letzten lichtempfindenden Elemente des Nervs die Zäpfchen sind.

Wie aber ist die Artverschiedenheit der Gesichtsempfindungen zu erklären?

Th. Young hat die Meinung aufgestellt, es seyen im Auge drei Arten von Nerven vorhanden und diese seine Meinung gründet sich auf die Erfahrung, dass man aus drei passend gewählten, artverschiedenen Lichtempfindungen, das ganze Gebiet der Farbenempfindungen zusammensetzen kann. Helmholtz und Maxwell haben in neuerer Zeit diese Theorie empfohlen, Helmholtz ihr einige Modifica-

tionen und Ausführungen gegeben, so daß eine größere Zahl von Erscheinungen nach derselben erklärt werden kann. Da die Hypothese diesen Thatsachen angepaßt wurde, so kann man nicht diese Uebereinstimmung wieder als Beweis für die Richtigkeit der Annahme anrufen. Wegen dieser Thatsachen und ihrer Erklärung muß auf die Schriften von Helmholtz, namentlich die physiologische Optik verwiesen werden. Aus der Hypothese läßt sich eine auffallende Folgerung gewinnen und Helmholtz hat sich bemüht nachzuweisen, daß sie mit der Erfahrung im Einklang stehe und somit eine Stütze für die Theorie gewonnen sey.

Es sey mir erlaubt zu bemerken, daß für die in Rede stehende Thatsache, eine andere Erklärungsweise nicht ganz ausgeschlossen ist. Alsdann aber werde ich zu zeigen versuchen, daß logisch richtige Ableitungen aus der Young'schen Annahme im Widerspruche mit der Erfahrung sind, jene Annahme also unhaltbar ist.

Zuvor aber theile ich mit Helmholtz's Worten (Physiolog. Optik S. 291) die Hypothese mit:

1) »Es giebt im Auge drei Arten von Nervenfasern. Reizung der ersten erregt die Empfindung des Roth, Reizung der zweiten, die des Grün, Reizung der dritten die Empfindung des Violett.«

2) »Objectives homogenes Licht erregt diese drei Arten von Fasern, je nach seiner Wellenlänge in verschiedener Stärke. Die rothempfindenden Fasern werden am stärksten erregt von dem Lichte größter Wellenlänge, die grünempfindenden von dem Lichte mittlerer Wellenlänge, die violett empfindenden von dem Lichte kleinster Wellenlänge, indessen ist dabei nicht ausgeschlossen, muß vielmehr zur Erklärung einer Reihe von Erscheinungen angenommen werden, daß jede Spectralfarbe alle Arten von Fasern erregt, aber die einen schwach, die andern stark.«

Die schon angedeutete Folgerung ist diese, daß auf objectiven Lichtreiz, immer nur eine gemischte Farbenempfindung erfolgen kann, und also einfachere, gesättigtere Far-

benempfindung noch möglich bleibt und unter besondern Umständen, wenn die wirksame Reizung nicht auf alle drei Nervenarten sich erstreckt, auftreten kann. Nun hat Helmholtz gefunden, daß die gesättigtesten objectiven Farben, nämlich die reinen Spectralfarben, noch nicht die gesättigteste Farbenempfindung hervorrufen, sondern daß man diese erst erhält, wenn man unmittelbar vorher die Empfindung der complementären Farbe gehabt hat (l. c. 370). Das läßt sich nun allerdings sehr gut nach der Young'schen Hypothese durch die Ermüdung der einen Nervenart erklären, allein anderentheils wäre doch auch denkbar, daß man es hier mit einem rein psychischen Vorgange zu thun habe, daß nämlich im Contraste mit der unmittelbar vorher gesehenen, die complementäre Farbe lebhafter empfunden werde. Subjective Farbenempfindungen erscheinen sehr gesättigt und man ist geneigt sie für gesättigter zu halten, als die auf objectiven Lichtreiz hin entstehenden. Allein hierauf ist, wie auch Helmholtz bemerkt, wenig Gewicht zu legen. Es fehlt, was bei dem geringen Erinnerungsvermögen für Lichtstärken und Farben so nöthig wäre, — an der Möglichkeit eines unmittelbaren Vergleiches; die subjectiven Farben sind sehr lichtschwach und deshalb gesättigter aussehend usw. Mag man übrigens auch die angeführte Thatsache als eine Stütze für die Young'sche Hypothese ansehen, — wenn das folgende richtig ist, so kann diese doch nicht gehalten werden.

Die verschiedenartig empfindenden Nerven Elemente haben eine räumliche Ausdehnung und es ist nach dem, zu Anfang dieser Mittheilung angeführten wahrscheinlich, daß man je ein Zäpfchen als ein Nerven element der einen oder der andern Art anzusehen hat. An derselben Stelle an der z. B. ein rothempfindendes Nerven element liegt, kann nicht auch ein grünempfindendes und ein violett empfindendes vorhanden seyn. Folglich müssen im Auge blinde Flecke für die einzelnen Farben bestehen, ähnlich wie die Stelle, an welcher gar keine Zäpfchen, also weder ein empfinden-

wirklich blind ist. Betrachtet man nun eine gleichförmig mit Zinnober überzogene und gleichförmig beleuchtete Fläche, so daß ihr Bild auf der Netzhaut den gelben Fleck ganz einnimmt, so ist der objective Reiz an allen Stellen des gelben Flecks derselbe, nicht aber — im Sinne der Theorie — die Empfindungsstärke. An einigen Stellen, da wo die rothempfindenden Nervenelemente liegen, muß die Empfindung sehr lebhaft und ihrer Art nach »Roth« seyn, an andern Stellen, die von grünempfindenden Nervenelementen eingenommen sind, ist die Empfindung schwach und der Art nach »Grün«, endlich an noch anderen Stellen, auf den violett empfindenden Nervenelementen, ist die Empfindung ganz schwach und ihrer Art nach »Violett«. Keinesfalls kann also die Fläche gleichförmig roth aussehen, sondern man muß eine förmliche Centralprojection von der Anordnung der einzelnen, verschiedenartigen Nervenelemente erblicken. Dies ist aber nicht der Fall; wir erscheinen die objectiv homogene Scheibe bei dem starren Anblicken auch subjectiv homogen.

Betrachtet man, um ein anderes Beispiel anzuführen, viele leuchtende Punkte (rothe) auf einem dunklen Hintergrunde, so daß die Netzhautbilder der einzelnen leuchtenden Punkte verschwindend kleine Ausdehnung haben und sicherlich nur je ein Nervenelement reizen. Einzelne der Bilder fallen auf rothempfindende, andere auf grünempfindende, wieder andere auf violett empfindende Stellen; die hellen Punkte können also nicht alle in der gleichen Art, nämlich nicht gleich hell und nicht gleich geführt gesehen werden. Auch dies widerspricht der Erfahrung.

Der Gedanke läßt sich noch weiter variiren und andere Beispiele können ersonnen werden, allein vorstehendes wird genügen.

Da also (so weit ich bemerken kann) logisch richtige Folgerungen aus der Young'schen Hypothese der verschiedenartigen Nerven im Auge, im Widerspruche mit den Thatsachen stehen; so ist die Annahme unzulässig.

Wolte man den Ausweg ergreifen anzunehmen, daß

immer die drei Arten von Nerven-elementen übereinander liegen und durch die einen hindurch ein Reiz bis auf den letzten sich fortsetze; so würde man, wie mit scheint, das Wesen der Young'schen Hypothese zerstören, und es wäre für die Erklärung des Farbensehens nichts gewonnen.

Anknüpfend an das letzt betrachtete Beispiel heller farbiger Punkte (Sterne) auf dunklem Grunde, könnte man wohl auf den Gedanken gerathen, das bekannte Funkeln der Fixsterne mittelst der Young'schen Hypothese dahin zu erklären, daß das Auge nicht ruhig bleibe und der Reihe nach verschiedene Nerven-elemente, also auch verschiedenartig empfindende, von demselben Reize getroffen und somit successive verschiedene Farben gesehen würden. Das Funkeln ist aber in einer anderen Weise genügend erklärt und der Gedanke kann nicht ernsthaft verfolgt werden, ohne auf Widerspruch zu führen.

Die Erklärung des Farbensehens wurde noch auf ganz andere Art versucht.

Grailich (Sitzungsberichte der math. naturw. Classe d. k. Akademie d. Wissenschaften zu Wien, Bd. XII (1854) S. 763 bis 847 und Bd. XIII; S. 201 bis 284) macht die Annahme, die Bewegung der Aethertheilchen, welche das Licht ausmacht, übertrage sich in ähnlicher Weise auf die Nervenfasern und die Art der entstehenden Gesichtsempfindung hänge nur von der Dauer des Ausschlags eines Aethertheilchens nach derselben Seite von der Gleichgewichtslage ab. Bei homogenen Lichtarten sind die aneinander folgenden Zeitabschnitte, während welcher das Aethertheilchen auf derselben Seite der Gleichgewichtslage bleibt, alle gleich und nur ihrer absoluten GröÙe nach von Lichtart zu Lichtart verschieden. Die verschiedenartige Empfindung oder Farbe hängt dann nur von der GröÙe der Periode ab. Trifft gleichzeitig verschiedenartiges Licht die Netzhaut, so hat man zur Beurtheilung der entstehenden Empfindung nach Grailich die Interferenz der verschiedenen Lichtstrahlen zu untersuchen. Combinirt man z. B.

nend polarisirte Lichtstrahlen), so entsteht eine zusammengesetztere Bewegung, bei welcher die aufeinanderfolgenden Abstände der Knotenpunkte (der Stellen, an welchen das Aethertheilchen gerade in seiner Gleichgewichtslage sich findet) im Allgemeinen nicht mehr gleich sind, sondern ein complicirteres Gesetz der Periodicität befolgen. Der Ausschlag nach einer Seite findet abwechselnd kürzere oder längere Zeit hindurch statt, ehe er einmal Null wird, um dann nach der entgegengesetzten Seite hin zu erfolgen, oder auch in einzelnen Fällen nach derselben Seite von neuem zu beginnen. Es entstehen also, da die Art der Empfindung eben nur von der Größe der Periode abhängen soll, nach und nach verschiedene Empfindungen in raschem Wechsel nach einem bestimmten Gesetze der Wiederkehr und setzen sich zur Empfindung der Mischfarbe zusammen. Diese Mischfarbe soll desto weißlicher seyn, je mannigfaltiger und verschiedenartiger die Bestandtheile, die einzelnen elementaren Empfindungen sind. Weiß selbst soll aus der raschen Folge der Empfindungen von Orange und den im Spectrum folgenden Farben bis Gelblichgrün bestehen. Bei der Combination zweier homogener Lichtarten treten in der resultirenden Bewegung auch Perioden auf, wie sie bei den homogenen Lichtarten des sichtbaren Theiles des Spectrums nicht vorkommen; sonach wären, nach Grailich's Hypothese noch andere gesättigte, einfache Farbenempfindungen möglich als sie im Spectrum vorliegen (Purpur). Nicht nur die Dauer des Ausschlags nach derselben Seite ist bei zusammengesetzten Bewegungen von verschiedener Periode veränderlich, sondern auch die größte Weite der Entfernung aus der Gleichgewichtslage ist in den aufeinanderfolgenden Knotenabständen im allgemeinen ungleich und somit die Intensität der successive auftretenden Empfindungen veränderlich. Auch hierauf ist für die Beurtheilung der Gesamtwirkung gebührend Rücksicht zu nehmen.

Diese Theorie von Grailich beansprucht nicht den Mechanismus der Perception der Gesichtsempfindungen zu

erklären, sondern nur die einzelnen Thatsachen bezüglich der Mischfarben unter gemeinsamem Gesichtspunkt zusammen zu fassen. Wäre sie richtig, so wäre hiermit ein großer Schritt gethan.

Es ist schon früher darauf hingewiesen worden, daß in einigen charakteristischen Fällen die Grailich'schen Berechnungen mit der Erfahrung in Widerspruch stehen und Grailich selbst hat durch weitere Annahmen über die Intensität der Componenten diese Widersprüche zu beseitigen getrachtet. Denkbar wäre es und ist auch vermuthet worden, daß Modificationen der Annahme Grailich's, etwa entsprechend der Variation der Constanten einer Function, den Einklang der Theorie mit der Erfahrung herstellen könnten.

In der mühsamen und interessanten Abhandlung von Grailich ist jedoch ein folgenschwerer Irrthum enthalten, den ich im Folgenden nachweisen will und dessen Aufdeckung, wie sich zeigen wird, zum gänzlichen Verlassen der Theorie nöthigt.

Die Empfindung, welche durch gemischtes Licht hervorgerufen wird, ist jener eines Zusammenklingens von Tönen zu vergleichen. Wir nehmen aber nicht bloß einen Accord als solchen wahr, sondern unterscheiden auch gleichzeitig die einzelnen ihn bildenden Töne, zerlegen ihn in seine Bestandtheile. Das Ohr ist ein ausgezeichnet analysirender Apparat. Das ist das Auge nicht; mithin wird nur die Mischfarbe in ihrer Ganzheit, werden nicht mehr die Bestandtheile wahrgenommen; die zusammengesetzte Bewegung der Aethertheilchen wird nicht mehr in einfache nach dem Sinusgesetz sich vollziehende Schwingungen zerlegt. Für die Empfindung des Accordes zweier oder mehr Töne ist es ganz gleichgültig ob die Schwingungen, welche die Töne ausmachen, im selben Augenblicke beginnen, oder ob eine beliebige Verzögerung, ein beliebiger Phasenauserschlag zwischen ihnen vorhanden ist. Dasselbe gilt für die Gesichtsempfindungen. Die Empfindung der resultirenden Mischfarbe hängt nur von der Art und der relativen In-

Intensität der Componenten, nicht von deren Phasenunterschied ab. Und dieser Phasenunterschied ist jedenfalls ein häufig und vielartig wechselnder, da die zwei zusammenwirkenden Lichtstrahlen im Allgemeinen incohärent sind, das heisst die bekanntlich stets vorkommenden Unregelmäßigkeiten in der Bewegung treffen die beiden Lichtstrahlen nicht gleichzeitig und gleichartig. Diese Incohärenz bewirkt, dass der Phasenunterschied zweier Strahlen ein wechselnder, das Interferenzresultat somit ein wechselndes ist und das ist der Grund, warum man Interferenzerscheinungen (Streifen, Ringe etc.) nur dann wahrnehmen kann, wenn die interferirenden Strahlen, von demselben leuchtenden Punkte abstammen, also cohärent sind. Von dem Phasenunterschiede zwischen den Componenten hängt aber, bei richtiger Betrachtung, die Art der aufeinander folgenden Empfindungen im Sinne der Grailich'schen Theorie wesentlich ab.

Grailich führt seine Rechnungen nur für den Fall, dass einmal zwei Knotenpunkte der zwei Strahlen in denselben Punkt treffen, zwei Anfangspunkte der Sinuscurven zusammenfallen, und sagt (Bd. XIII, S. 248):

„Offenbar wird es irgendwo, die ursprüngliche Schwingungsweise sey, welche immer, bei commensurablen Längenverhältnissen der Wellen, einen solchen Punkt in ihrer gemeinschaftlichen Bahn geben, und wenn die Geschwindigkeiten beider Strahlen gleich wären, müßten diese Punkte regelmässig nach dem Durchlaufen einer Strecke, die wir die grosse Periode nannten, wiederkehren.“

Das ist aber unrichtig, ja gewissermassen im entgegengesetzten Sinne wahr. Bei *incommensurablen* Verhältniss der Wellenlängen kommen *alle* möglichen Lagen der Knotenpunkte der zwei Wellenzüge gegeneinander vor, also auch einmal, aber nur *einmal* ein Zusammenfallen der Knotenpunkte. Bei *commensurablen* Verhältniss der Wellenlängen kann hingegen, selbst bei unendlicher Ausdehnung der gemeinschaftlichen Bahn, immer nur *eine* beschränkte

Zahl von relativen Lagen der Knoten vorkommen. Man überzeugt sich hiervon sehr leicht durch algebraische Betrachtung; bequemer und ebenso streng beweisend aber durch Exemplification.

Ist das Verhältniß der Wellenlängen $1:2$, hat der erste Wellenzug im Punkte 0. einen Knoten und der zweite Wellenzug im Punkte $\frac{1}{2}$, so liegen in folgenden Punkten die Knoten

des ersten Wellenzuges: 0 1 2 3 4 5 6 7 8
des zweiten Wellenzuges: $\frac{1}{2}$ $2\frac{1}{2}$ $4\frac{1}{2}$ $6\frac{1}{2}$ $8\frac{1}{2}$

Ist das Verhältniß der Wellenlängen $5:6$, hat der erste Wellenzug im Punkt 0, der zweite im Punkt $\frac{1}{2}$ einen Knoten, so liegen in folgenden Punkten die Knoten

des ersten Wellenzuges: 0 ... 5 ... 10 ... 15 ... 20 ... 25 ... 30 ...
des zweiten Wellenzuges: $\frac{1}{2}$ $6\frac{1}{2}$ $12\frac{1}{2}$ $18\frac{1}{2}$ $24\frac{1}{2}$ $30\frac{1}{2}$

In beiden Beispielen treffen niemals zwei Knotenpunkte zusammen; im ersten Falle ist überhaupt die relative Lage der Knoten der zwei Wellenzüge eine unabänderlich bleibende, je der zweite Knotenabstand des ersten Zuges wird durch einen Knotenpunkt des zweiten Zuges im Verhältniß von $1:2$ getheilt; im zweiten können fünf, aber nicht mehr, verschiedene Lagen der Knotenpunkte des zweiten Zuges gegen die benachbarten des ersten vorkommen, der Knotenabstand im ersten Wellenzug kann nämlich durch einen Knotenpunkt des zweiten Zuges in den Verhältnissen

$1:9$; $3:7$; $5:5$; $7:3$; $9:1$

getheilt werden.

Man darf also nicht wie Grailich thut, die Rechnung auf den Fall beschränken, wo der Phasenunterschied der zwei Strahlen gleich Null ist, sondern muß sie allgemeiner führen. Man hat dann nachzusehen, was in den Interferenzergebnissen zweier Strahlen verschiedener Wellenlänge unveränderlich bleibt, wenn sich der Phasenunterschied ändert. Nur von den constant bleibenden Elementen kann die Art der Empfindung abhängen, weil sie erfahrungsgemäß unabhängig vom Phasenunterschiede ist.

Die Rechnung macht sich nur dann bequem, wenn die Amplituden der zwei interferirenden Strahlen gleich groß sind und nur für diesen Fall, will ich einiges hier mittheilen.

Die Gleichungen der zwei geradlinig polarisirten Strahlen von übereinstimmender Schwingungsrichtung sind:

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda_1} (Vt - x)$$

$$y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda_2} (Vt - x + \delta)$$

wobei a die Amplitude bedeutet, y_1 und y_2 die Ausschläge zur Zeit t , λ_1 und λ_2 die Wellenlängen der zwei Strahlen, x die Entfernung des betrachteten Punkts vom Anfangspunkt der Abscissenaxe, welche die gemeinschaftliche Richtung der Strahlen ist, und V die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts, welche hier für beide Strahlen als dieselbe genommen werden soll. Streng genommen ist diese Annahme unstatthaft; Grailich erörtert (Bd. XIII, S. 248), daß man unbedenklich diese Annahme machen dürfe; ganz zustimmen kann ich dem nicht; bei Berücksichtigung der ungleichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der verschiedenen interferirenden Lichtarten würde das, worauf ich im weiteren Laufe aufmerksam zu machen habe, nur noch stärker hervortreten; ich gestatte mir daher die Bequemlichkeit V als constant anzunehmen. Zur Zeit $t=0$ hat der erste Strahl im Anfangspunkt einen Knoten, der zweite aber im Punkte $x = -\delta$; δ ist daher der Gangunterschied der zwei Strahlen. Es soll die resultirende Bewegung untersucht werden, insbesondere die Gestalt der Curve, welche den geometrischen Ort der gleichzeitigen Lagen der verschiedenen Aetherpunkte darstellt. Da hierfür der Zeit t irgend ein constanter Werth beigelegt werden kann, so wähle ich den bequemsten $t=0$ und dann wird die Ordinate des Aethertheils in der resultirenden Bewegung:

$$-Y = a \left[\sin \frac{2\pi}{\lambda_1} x + \sin \frac{2\pi}{\lambda_2} (x - \delta) \right].$$

Die Lage der Knotenpunkte ist durch die Bedingung $Y=0$ oder

$$\sin \frac{2\pi}{\lambda_1} x = - \sin \frac{2\pi}{\lambda_2} (x - \delta)$$

ausgedrückt, woraus folgt:

$$1) \quad 2n\pi - \frac{2\pi}{\lambda_1} x = \frac{2\pi}{\lambda_2} (x - \delta)$$

$$2) \quad (2n+1)\pi + \frac{2\pi}{\lambda_1} x = \frac{2\pi}{\lambda_2} (x - \delta)$$

und hieraus ergeben sich folgende zwei Systeme von Werthen für x , denen Knotenpunkte entsprechen:

$$1) \quad x = \frac{n + \frac{\delta}{\lambda_2}}{\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1}}$$

$$2) \quad x = \frac{2n+1 + \frac{2\delta}{\lambda_2}}{2\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)}$$

Die dem ersten System von x entsprechenden Knoten nenne ich Knotenpunkte der ersten, die andern der zweiten Art.

Die Abstände zweier auf einanderfolgenden Knotenpunkte der ersten Art sind

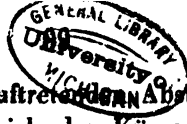
$$\frac{1}{\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1}}.$$

Die Abstände der viel weniger häufig auftretenden Knotenpunkte der zweiten Art von einander sind

$$\frac{1}{\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}}.$$

Im Allgemeinen fällt ein Knotenpunkt der zweiten Art zwischen zwei Knotenpunkte der ersten Art, und da diese zahlreicher vorkommen als die der zweiten Art, so kehrt der Abstand $\frac{1}{\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1}}$ mehrmals hinter einander wieder, ehe

er durch einen zwischenfallenden Knotenpunkt zweiter Art in zwei Theile zerlegt wird. Diese zahlreich vorkom-



menden, gruppenweise auftretenden Abständen der Knotenpunkte erster Art, will ich der Kürze halber »Hauptabstände« nennen.

Es scheint mir keine Veranlassung geboten zu seyn, nach den Principien der Zahlentheorie allgemein die Arten der Zwischenlagerung der Knoten zweiter Art zwischen je zwei Knoten der ersten Art zu untersuchen; ich finde es besser und begnüge mich, auf Eleganz verzichtend, einige von mir ausgerechnete Beispiele vorzuführen. Es sind zunächst einige, die auch Grailich (in andrer Form und für den speciellen Fall $\delta = 0$) gerechnet hat, dann folgen einige andere, die mir zur Demonstration geeignet schienen.

Interferenz zweier Lichtstrahlen gleicher Amplitude (übereinstimmend geradlinig polarisirter) von den Wellenlängen $\lambda_1 = 3$ und $\lambda_2 = 2$.

In der ersten Reihe gebe ich die Abscissen der Knotenpunkte erster Art, in der zweiten die Abscissen der Knotenpunkte zweiter Art an.

Für $\delta = 0$ findet man:

0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	...
				15				45				75				...

Die Zahlen bedeuten Fünftel der Längeneinheit.

Der Rhythmus der aufeinander folgenden Knotenabstände ist also

$$(1 \ 1 \ \frac{1}{2} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \ \frac{1}{2} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \ \frac{1}{2} \ 1 \ 1) \dots$$

worin 1 den Hauptabstand bedeutet. Je mit einer Klammer ist eine große Periode umfaßt.

Für $\delta = \frac{1}{7}$ findet man die Lage der Knotenpunkte gegeben durch:

6	90	174	258	342	426	510	594	678	762	846
		240					660			
								930	1014	1098
									1080	

(Die Zahlen bedeuten 70^{stel}.)

Der Rhythmus ist also

$$(1 \ 1 \ \frac{11}{14} \ \frac{3}{14} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \ \frac{11}{14} \ \frac{3}{14} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \ \frac{11}{14} \ \frac{3}{14} \ 1 \ 1) \dots$$

7*

Für $\delta = \frac{2}{3}$ ergeben sich die Abscissen der Knotenpunkte:

6 36 66 96 126 156 186 216 246 276 306	
105	255
	336 366 396 426 ...
	405 ...

(Die Zahlen bedeuten $25^{\text{stel.}}$.)

Der Rhythmus ist also

$(1 \ 1 \frac{3}{10} \ \frac{7}{10} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \frac{3}{10} \ \frac{7}{10} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \frac{3}{10} \ \frac{7}{10} \ 1 \ 1) \dots$

Für $\delta = \frac{1}{4}$ findet man, daß die Abscissen der Knotenpunkte sind

3 27 51 75 99 123 147 171 195 219 243 267 291 315 ...	
75	195 315 ...

(Die Zahlen bedeuten $20^{\text{stel.}}$.)

Hier coïncidiren die Knotenpunkte zweiter Art mit solchen erster Art und folglich sind alle Knotenabstände unter einander gleich, gleich dem Hauptabstand. Der Rhythmus ist

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...

und kann nach Analogie der vorhergehenden Fälle geschrieben werden

$(1 \ 1 \ 0 \ \frac{m}{m} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \ 0 \ \frac{m}{m} \ 1 \ 1) (1 \ 1 \ 0 \ \frac{m}{m} \ 1 \ 1) \dots$

usw.

Die Knotenpunkte sind a_1 mal um den Hauptabstand von einander entfernt, den ich mit 1 bezeichne, dann kommen zwei Abstände α_1 und β_1 , die zusammen einen Hauptabstand bilden, herrührend von einem Knotenpunkt zweiter Art, der sich zwischen zwei der ersten Art gelagert hat; dann folgen a_2 Hauptabstände jeder gleich 1, hierauf die zwei Abstände α_2, β_2 , dann wieder a_3 Hauptabstände und so fort. Die großen Perioden kann man folgendermaßen darstellen:

$(a_1 \ \alpha_1 \ \beta_1 \ a_2 \ \alpha_2 \ \beta_2 \ a_3 \ \alpha_3 \ \beta_3 \ a_4 \ \alpha_4 \ \beta_4 \dots a_n \ \alpha_n \ \beta_n)$: von vorn.
 α und β können jeden beliebigen gebrochenen Werth annehmen, ihre Summe aber ist stets Eins. Eine der zwei Größen kann Null seyn, was anzeigt, daß ein Knotenpunkt zweiter Art einmal coïncidirt mit einem der ersten

Art, dann sind α_i Hauptabstände vorhanden, dann ein einzelner und hierauf wieder α_i , so daß ununterbrochen $\alpha_i + 1 + \alpha_i$ solcher Hauptabstände einander folgen. Beispiel in III für $\delta = \frac{1}{4}$. Oder es können auch alle Werthe von α Null werden und dem entsprechend die β gleich der Einheit; dann fallen alle Knotenpunkte zweiter Art mit solchen erster Art zusammen. Beispiel der letzt angeführte Fall, wo $\delta = \frac{1}{4}$. Die Werthe der α , β sind nach einem gewissen Symmetriegesetze über die große Periode vertheilt, das sich freilich nicht immer leicht erkennen läßt. α und β sind nur vom Gangunterschiede der zwei Strahlen abhängig.

Die Zahlenwerthe der α hängen ab von der relativen Größe der Wellenlängen der interferirenden Strahlen. Entweder sind alle α einander gleich, oder sie sind um eine Einheit verschieden. Nur scheinbar haben einzelne einen doppelt so großen Werth; dieß ist der Fall, wenn α oder β Null geworden sind.

Die Anzahl der Hauptabstände, deren Summe der Länge einer großen Periode gleichkommt, ist $l_1 + l_2$, oder $\frac{l_1 + l_2}{2}$ wenn $l_1 : l_2$ das in den kleinsten Zahlen ausgedrückte Verhältniß der Wellenlängen ist.

Weder die Größe der α , noch die Längen der großen Periode hängen von dem Gangunterschiede ab.

Ich theile nun zunächst die Ergebnisse der Interferenz einiger Paare von Lichtstrahlen mit. Ich werde zuerst die großen Perioden nach der Bezeichnung $\alpha_1 \alpha_1 \beta_1 \alpha_2 \alpha_2 \beta_2 \dots$ mittheilen, dann das Doppelte der auf einander folgenden Knotenabstände in Milliontel Millimeter, das sind also die Wellenlängen jener homogenen Lichtarten die nach Graulich Empfindungen hervorbringen, welche den elementaren Farbempfindungen entsprechen. Neben diese Wellenlänge setze ich die gewöhnliche Bezeichnung der Farbe und ihre ungefähre Lage im Spectrum nach den Fraunhofer'schen und Stokes'schen Linien. Es treten in meinen Rechnungen Wellenlängen auf, die viel kleiner sind als die der

sichtbaren Strahlen. Als äußerste Gränze des Ultraviolett nehme ich den Streifen *S*, dem eine Wellenlänge von $0^{mm},00030$ entspricht. Die noch kleineren Wellenlängen bringen eine uns gänzlich unbekannte, vielleicht gar keine physiologische Wirkung hervor. Ich bezeichne die entstehende Empfindung mit *q*, wenn die Wellenlänge zwischen $0^{mm},000300$ und $0^{mm},000175$ liegt, die Farbe also der ersten Octave über dem Ultraviolett angehört; mit *qq* die Farbe der folgenden Octave (Wellenlänge zwischen $0^{mm},000175$ und $0^{mm},000088$) mit *qqq* die Farbe der nächst höheren Octave (Wellenlänge zwischen $0^{mm},000088$ und $0^{mm},000044$) endlich mit *qqqq* die Art der physiologischen Wirkung von noch kürzeren Aetherwellen. In Grailich's Rechnungen sind Wellenlängen vorgekommen, die gröfser sind als die gröfsten im sichtbaren Theile des Spectrums. Diese sollen seiner Meinung nach die Empfindung Purpur erzeugen.

Zusammensetzung zweier homogener Lichtarten, bei Voraussetzung gleicher Amplitude.

I. $\lambda_1 = 0^{mm},000600$; $\lambda_2 = 0^{mm},000400$. Orange (zwischen *D* und *C*) und Violett (nahe *H*). $\lambda_1 : \lambda_2 = 3 : 2$.

Für $\delta = 0$ ist die grofse Periode: $(4 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) (4 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) (4 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) \dots$

Für $\delta = \frac{1}{2}$ sind alle Abstände gleich oder die Periode ist: $(4 \ 0 \ \frac{2}{3}) (4 \ 0 \ \frac{2}{3}) (4 \ 0 \ \frac{2}{3}) \dots$

Für $\delta = \frac{1}{3}$ Periode: $(4 \ \frac{11}{12} \ \frac{5}{12}) (4 \ \frac{11}{12} \ \frac{5}{12}) (4 \ \frac{11}{12} \ \frac{5}{12}) (4 \ \frac{11}{12} \ \frac{5}{12}) \dots$

Für $\delta = \frac{2}{3}$ Periode: $(4 \ \frac{8}{10} \ \frac{7}{10}) (4 \ \frac{8}{10} \ \frac{7}{10}) (4 \ \frac{8}{10} \ \frac{7}{10}) \dots$

$\delta = 0.$
4mal 480 Blau nahe *F*
240 *q*
240 *q*

4mal 480 Blau
240 *q*
240 *q*
usw.

$\delta = \frac{1}{2}.$
4mal 480 Blau
480 Blau

4mal 480 Blau
480 Blau
usw.

$\delta = \frac{1}{2}$.
 4 mal 480 Blau
 377 Ultraviolett nahe *L*
 103 *q q*
 4 mal 480 Blau
 377 Ultraviolett *L*
 103 *q q*
 usw.

$\delta = \frac{2}{3}$
 4 mal 480 Blau
 144 *q q*
 336 Ultraviol. *P*
 4 mal 480 Blau
 144 *q q*
 336 Ultraviol. *P*
 usw.

II. $\lambda_1 = 0^{mm},000560$; $\lambda_2 = 0^{mm},000400$. Gelb (zwischen *D* und *E*) und Violett (nahe *H*). $\lambda_1 : \lambda_2 = 7 : 5$.

Für $\delta = 0$ sind alle Abstände gleich und die Periode kann geschrieben werden:

(5 0 1) (5 0 1) . . .
 Für $\delta = \frac{1}{2}$ Periode: (5 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$) (5 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$) (5 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$) . . .
 „ $\delta = \frac{1}{3}$ „ (5 $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$) (5 $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$) . . .
 „ $\delta = \frac{2}{3}$ „ (5 $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{3}$) (5 $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{3}$) . . .
 „ $\delta = \frac{2}{11}$ „ (5 $\frac{2}{11}$ $\frac{9}{11}$) (5 $\frac{9}{11}$ $\frac{2}{11}$) . . .

$\delta = 0$.
 5 mal 467 Indigo zwischen
G und *F*
 467 Indigo

5 mal 467 Indigo
 467 Indigo
 usw.

$\delta = \frac{1}{2}$.
 5 mal 467 Indigo
 234 *q*
 234 *q*

5 mal 467 Indigo
 234 *q*
 234 *q*
 usw.

$\delta = \frac{1}{11}$.
 5 mal 467 Indigo
 156 *q*
 311 Ultraviolett. *R* bis *S*
 usw.

$\delta = \frac{2}{11}$.
 5 mal 467 Indigo
 311 Ultraviol. *R* bis *S*
 156 *q*
 usw.

$\delta = \frac{1}{11}$.
 5 mal 467 Indigo
 130 *q q*
 347 Ultraviolett zwischen *O* und *N*
 5 mal 467 Indigo
 130 *q q*
 347 Ultraviolett zwischen *O* und *N*
 usw.

III. $\lambda_1 = 0^{\text{m}},000604$; $\lambda_2 = 0,000460$. Orange (zw. *D* und *C*) und Blau (zwischen *F* und *G*). $\lambda_1 : \lambda_2 = 21 : 16$.

Für $\delta = 0$ Periode: $(6 \frac{7}{10} \frac{3}{15} 7 \frac{1}{10} \frac{9}{10} 6 \frac{5}{10} \frac{5}{10} 6 \frac{9}{10} \frac{1}{10} 7 \frac{3}{15} \frac{7}{10})$
 $(6 \frac{7}{10} \frac{9}{10} 7 \frac{1}{10} \frac{9}{10} 6 \frac{5}{10} \frac{5}{10} 6 \frac{9}{10} \frac{1}{10} 7 \frac{3}{10} \frac{7}{10}) \dots$

Für $\delta = \frac{1}{2}$ usw. dasselbe.

Für $\delta = \frac{1}{3}$ $(6 \frac{19}{30} \frac{11}{30} 7 \frac{1}{30} \frac{29}{30} 6 \frac{13}{30} \frac{17}{30} 6 \frac{23}{30} \frac{7}{30} 7 \frac{7}{30} \frac{23}{30})$
 $(6 \frac{19}{30} \frac{11}{30} 7 \frac{1}{30} \frac{29}{30} 6 \frac{13}{30} \frac{17}{30} 6 \frac{23}{30} \frac{7}{30} 7 \frac{7}{30} \frac{23}{30}) \dots$

Für $\delta = \frac{1}{4}$ wird die Periode gefunden:

$(6 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 14 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 6 \frac{4}{3} \frac{1}{3} 7 \frac{1}{3} \frac{4}{3}) (6 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 14 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 6 \frac{4}{3} \frac{1}{3} 7 \frac{1}{3} \frac{4}{3} \dots)$

die man auch schreiben kann

$(6 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 7 0 \frac{1}{3} 6 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 6 \frac{4}{3} \frac{1}{3} 7 \frac{1}{3} \frac{4}{3}) (6 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 7 \frac{0}{3} \frac{1}{3} 6 \frac{2}{3} \frac{2}{3} 6 \frac{4}{3} \frac{1}{3} 7 \frac{1}{3} \frac{4}{3} \dots)$

$\delta = 0$ oder $= \frac{1}{2}$ usw.

$\delta = \frac{1}{3}$

6 mal 422 Indigviolett *G* nach
F hin

6 mal 422 Indigviolett

295 *q*

267 *q*

127 *q q*

155 *q*

7 mal 422 Indigviolett

7 mal 422 Indigviolett

42 *q q q q*

14 *q q q q*

380 Ultraviolett *L*

408 Violett bei *H*

6 mal 422 Indigviolett

6 mal 422 Indigviolett

211 *q*

183 *q*

211 *q*

239 *q*

6 mal 422 Indigviolett

6 mal 422 Indigviolett

380 Ultraviolett *L*

352 Ultraviolett *N-O*

42 *q q q q*

70 *q q q*

7 mal 422 Indigviolett

7 mal 422 Indigviolett

127 *q q*

98 *q q*

295 *q*

324 Ultraviolett *Q-R*

von vorne.

von vorne.

$\delta = \frac{1}{11}$.

6 mal 422 Indigviolett

253 *q*

169 *q*

7 mal 422 Indigviolett

6mal 422 Indigviolett

169 *q*253 *q*

6mal 422 Indigviolett

338 Ultraviolett *P*84 *q q q*

7mal 422 Indigviolett

84 *q q q*338 Ultraviolett *P*

von vorne.

IV. $\lambda_1 = \frac{1}{1500}^{\text{mm}} = 0,000666$; $\lambda_2 = \frac{1}{2400}^{\text{mm}} = 0,000417$.Roth (zwischen *C* und *B*) und Violett (zwischen *G* und *H*).Für $\delta = 0$, $\delta = \frac{1}{2}^{\text{mm}}$, $\delta = \frac{1}{1200}$, $\delta = \frac{3}{500}^{\text{mm}}$ etc. findet man, alsPeriode: $(3 \frac{2}{3} \frac{2}{3} \quad 3 \frac{5}{6} \frac{1}{6} \quad 4 \frac{1}{2} \frac{5}{6}) \quad (3 \frac{2}{3} \frac{2}{3} \quad 3 \frac{5}{6} \frac{1}{6} \quad 4 \frac{1}{2} \frac{5}{6}) \dots$ Für $\delta = \frac{1}{700}^{\text{mm}}$ $(3 \frac{25}{42} \frac{17}{42} \quad 3 \frac{39}{42} \frac{3}{42} \quad 4 \frac{11}{42} \frac{31}{42}) \quad (3 \frac{25}{42} \frac{17}{42} \quad 3 \frac{39}{42} \frac{3}{42} \quad 4 \frac{11}{42} \frac{31}{42}) \dots$ Für $\delta = \frac{5}{900}^{\text{mm}}$ $(3 \frac{11}{18} \frac{7}{18} \quad 3 \frac{17}{18} \frac{1}{18} \quad 4 \frac{5}{18} \frac{13}{18}) \quad (3 \frac{11}{18} \frac{7}{18} \quad 3 \frac{17}{18} \frac{1}{18} \quad 4 \frac{5}{18} \frac{13}{18}) \dots$ $\delta = 0$ etc. $\delta = \frac{1}{700}^{\text{mm}}$ 3mal 512 Grün nahe bei *b*
nach *E* zu256 *q*256 *q*3mal 512 Grün
427 Violett nahe *G*
85 *q q q*3mal 512 Grün
305 Ultraviolett *S*
207 *q*3mal 512 Grün
475 Blau bis Indigo
*F—G*37 *q q q q*4mal 512 Grün
85 *q q q*
427 Violett nahe *G*
von vorne.4mal 512 Grün
134 *q q*
378 Ultraviolett *L*
von vorne. $\delta = \frac{1}{900}^{\text{mm}}$ 3mal 512 Grün
313 Ultraviolett *R—S*
199 *q*3mal 512 Grün
484 Blau *F*
28 *q q q q*4mal 512 Grün
142 *q q*
370 Ultraviolett *M*
von vorne

$$\text{V. } \lambda_1 = \frac{1}{1700}^{\text{mm}} = 0,000588; \quad \lambda_2 = \frac{1}{2200} = 0,000454.$$

Goldgelb (*D*) und Indigo (zwischen *G* und *F*).

Für $\delta = 0$ ist die Periode:

$$(7 \frac{7}{10} \frac{3}{10} 7 \frac{5}{10} \frac{5}{10} 7 \frac{8}{10} \frac{7}{10} 7 \frac{1}{10} \frac{9}{10} 6 \frac{9}{10} \frac{1}{10})$$

$$(7 \frac{7}{10} \frac{3}{10} 7 \frac{5}{10} \frac{5}{10} 7 \frac{8}{10} \frac{7}{10} 7 \frac{1}{10} \frac{9}{10} 6 \frac{9}{10} \frac{1}{10}) \dots$$

Für $\delta = \frac{1}{200}$ gerade so.

Für $\delta = \frac{1}{300}$ ist die Periode:

$$(7 \frac{23}{30} \frac{7}{30} 7 \frac{17}{30} \frac{13}{30} 7 \frac{11}{30} \frac{19}{30} 7 \frac{5}{30} \frac{25}{30} 6 \frac{29}{30} \frac{1}{30})$$

$$(7 \frac{23}{30} \frac{7}{30} 7 \frac{17}{30} \frac{13}{30} 7 \frac{11}{30} \frac{19}{30} 7 \frac{5}{30} \frac{25}{30} 6 \frac{29}{30} \frac{1}{30}) \dots$$

$\delta = 0.$

7 mal 512 Grün
 358 Ultraviolett *N*
 154 *q*
 7 mal 512 Grün
 256 *q*
 256 *q*
 7 mal 512 Grün
 154 *q*
 358 Ultraviolett *N*
 7 mal 512 Grün
 51 *q q q*
 461 Indigo zw. *F* u. *G*
 6 mal 512 Grün
 461 Indigo
 51 *q q q*
 von vorne.

$\delta = \frac{1}{100}.$

7 mal 512 Grün
 393 Violett nahe *H*
 119 *q q*
 7 mal 512 Grün
 290 *q*
 222 *q*
 7 mal 512 Grün
 188 *q*
 324 Ultraviol. *Q—R*
 7 mal 512 Grün
 85 *q q q*
 427 Violett *G—H*
 6 mal 512 Grün
 495 Blaugrün zwisch.
F u. b
 17 *q q q q*
 von vorne.

$$\text{VI. } \lambda_1 = \frac{1}{1400}^{\text{mm}} = 0,000714; \quad \lambda_2 = \frac{1}{2500} = 0,000400.$$

Außerstes Roth (bei *A*) und Violett (nahe *H*).

Für $\delta = 0$, $\delta = \frac{1}{700}^{\text{mm}}$ etc. ist die Periode:

$$(2 \frac{17}{22} \frac{5}{22} 3 \frac{7}{22} \frac{15}{22} 2 \frac{19}{22} \frac{3}{22} 3 \frac{9}{22} \frac{13}{22} 2 \frac{21}{22} \frac{1}{22} 3 \frac{11}{22} \frac{11}{22} 3 \frac{1}{22} \frac{21}{22} 2 \frac{13}{22} \frac{9}{22} 3 \frac{5}{22} \frac{19}{22})$$

$$2 \frac{15}{22} \frac{7}{22} 3 \frac{5}{22} \frac{17}{22}) \quad (2 \frac{17}{22} \frac{5}{22} \text{ etc.})$$

Für $\delta = \frac{1}{300}$ ist die Periode:

$$(2 \frac{53}{66} \frac{13}{66} 3 \frac{23}{66} \frac{43}{66} 2 \frac{55}{66} \frac{7}{66} 3 \frac{29}{66} \frac{27}{66} 2 \frac{65}{66} \frac{1}{66} 3 \frac{35}{66} \frac{31}{66} 3 \frac{5}{66} \frac{61}{66} 2 \frac{41}{66} \frac{25}{66} 3 \frac{11}{66} \frac{55}{66})$$

$$2 \frac{47}{66} \frac{19}{66} 3 \frac{17}{66} \frac{49}{66}) \quad (2 \frac{53}{66} \frac{13}{66} \text{ etc.})$$

$\delta = 0.$	$\delta = \frac{1}{1000} \text{ mm.}$
2mal 512 Grün	2mal 512 Grün
396 Violett <i>H</i>	460 Indigo <i>F - G</i>
116 <i>q q</i>	102 <i>q q</i>
3mal 512 Grün	3mal 512 Grün
163 <i>q</i>	179 <i>q</i>
349 Ultraviolett <i>O-N</i>	333 Ultraviolett <i>P - Q</i>
2mal 512 Grün	2mal 512 Grün
442 Indigo <i>G-F</i>	457 Indigo <i>F - G</i>
70 <i>q q q</i>	55 <i>q q q</i>
3mal 512 Grün	3mal 512 Grün
209 <i>q</i>	225 <i>q</i>
303 Ultraviolett <i>S</i>	287 <i>q</i>
2mal 512 Grün	2mal 512 Grün
504 Grünlich-Blan	504 Bläulichgrün <i>b</i>
nahe <i>F</i>	bis <i>F</i>
23 <i>q q q q</i>	8 <i>q q q q</i>
3mal 512 Grün	3mal 512 Grün
256 <i>q</i>	271 <i>q</i>
256 <i>q</i>	241 <i>q</i>
3mal 512 Grün	3mal 512 Grün
23 <i>q q q q</i>	39 <i>q q q q</i>
489 Grünlich Blau	463 Indigo <i>F - G</i>
nahe <i>F</i>	
2mal 512 Grün	2mal 512 Grün
303 Ultraviolett <i>S</i>	318 Ultraviolett <i>R</i>
209 <i>q</i>	194 <i>q</i>
3mal 512 Grün	3mal 512 Grün
70 <i>q q q</i>	85 <i>q q q</i>
442 Indigo <i>G-F</i>	427 Violett <i>C - H</i>
2mal 512 Grün	2mal 512 Grün
349 Ultraviolett <i>O-N</i>	365 Ultraviolett <i>N-M</i>
163 <i>q</i>	147 <i>q q</i>
3mal 512 Grün	3mal 512 Grün
116 <i>q q</i>	132 <i>q q</i>
396 Violett <i>H</i>	380 Ultraviolett <i>L</i>
von vorne	von vorne

VII. $\lambda_1 = \frac{1}{1800}^{\text{mm}} = 0,000555$; $\lambda_2 = \frac{1}{2100}^{\text{mm}} = 0,000476$.
Gelb (etwas Grünliches, Mitte zwischen *D* und *E*) und
Blau (rein, nahe *F*).

Für $\delta = 0$; $\delta = \frac{1}{200}$ etc. berechnet sich die Periode:
(12 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$) (12 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$) . . .

Für $\delta = \frac{1}{100}^{\text{mm}}$:
(12 $\frac{9}{10}$ $\frac{1}{10}$) (12 $\frac{9}{10}$ $\frac{1}{10}$) . . .

Für $\delta = \frac{2}{1100}^{\text{mm}}$:
(12 $\frac{13}{11}$ $\frac{9}{11}$) (12 $\frac{13}{11}$ $\frac{9}{11}$) . . .

Für $\delta = \frac{1}{2500}$ alle Abstände gleich, oder die Periode:
(12 0 1) (12 0 1)

$\delta = 0.$	$\delta = \frac{1}{2500}^{\text{mm}}$
12 mal 512 Grün	12 mal 512 Grün
256 <i>q</i>	461 Indigo <i>F-G</i>
256 <i>q</i>	51 <i>q q q</i>
12 mal 512 Grün	12 mal 512 Grün
256 <i>q</i>	461 Indigo <i>F-G</i>
256 <i>q</i>	51 <i>q q q</i>
usw.	usw.
$\delta = \frac{2}{1100}^{\text{mm}}$	$\delta = \frac{1}{1800}^{\text{mm}}$
12 mal 512 Grün	12 mal 512 Grün
302 Ultraviolett <i>S</i>	512 Grün
210 <i>q</i>	
12 mal 512 Grün	12 mal 512 Grün
302 Ultraviolett <i>S</i>	512 Grün
210 <i>q</i>	usw.
usw.	

VIII. $\lambda_1 = \frac{1}{1800}^{\text{mm}} = 0,000666$; $\lambda_2 = \frac{1}{2100}^{\text{mm}} = 0,000476$.
Roth (zwischen *C* und *B*) und Blau (nahe *F*).

Für $\delta = 0$ findet man lauter gleiche Abstände, die Periode ist 1 1 1 . . . oder (5 0 1) (5 0 1) . . .

Für $\delta = \frac{2}{1100}$ ist die Periode:
(5 $\frac{1}{11}$ $\frac{10}{11}$) (5 $\frac{1}{11}$ $\frac{10}{11}$) (5 $\frac{1}{11}$ $\frac{10}{11}$) . . .

Für $\delta = \frac{2}{1300}$ ist die Periode:
(5 $\frac{2}{13}$ $\frac{11}{13}$) (5 $\frac{2}{13}$ $\frac{11}{13}$) (5 $\frac{2}{13}$ $\frac{11}{13}$) . . .

$\delta = \frac{1}{1100}$
 8mal 555 Grüngelb
 119 *q q*
 436 Indigo-Violett
G - F

$\delta = \frac{1}{1100}$
 8mal 555 Grün
 555 Grüngelb

8mal 555 Grüngelb
 119 *q q*
 436 Indigo-Violett
 usw.

8mal 555 Grüngelb
 555 "
 usw.

X. $\lambda_1 = \frac{1}{1100} \text{ mm} = 0,000625$; $\lambda_2 = \frac{1}{1800} \text{ mm} = 0,000555$.

Rothorange und Grüngelb (zwischen *D* und *E*).

Für $\delta = 0$ ist die Periode:

$(16 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) (16 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) (16 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) \dots$

Für $\delta = \frac{1}{500} \text{ mm}$:

$(16 \frac{1}{10} \frac{9}{10}) (16 \frac{1}{10} \frac{9}{10}) (16 \frac{1}{10} \frac{9}{10}) \dots$

Für $\delta = \frac{1}{1100} \text{ mm}$:

$(16 \frac{19}{22} \frac{3}{22}) (16 \frac{19}{22} \frac{3}{22}) (16 \frac{19}{22} \frac{3}{22}) \dots$

$\delta = \frac{1}{57800} \text{ mm}$, alle Abstände sind gleich oder die Periode ist:

$(16 \ 0 \ 1) (16 \ 0 \ 1) (16 \ 0 \ 1)$

$\delta = 0$.
 16mal 588 Goldgelb (*D*)
 294 *q*
 294 *q*

$\delta = \frac{1}{1100}$
 16mal 588 Goldgelb
 59 *q q q*
 529 Grün (nahe *E*)

16mal 588 Goldgelb
 294 *q*
 294 *q*
 usw.

16mal 588 Goldgelb
 59 *q q q*
 529 Grün (nahe *E*)
 usw.

$\delta = \frac{1}{1100}$
 16mal 588 Goldgelb
 508 Blaugrün *b - F*
 80 *q q q*

$\delta = \frac{1}{1100}$
 16mal 588 Goldgelb
 588 Goldgelb

16mal 588 Goldgelb
 508 Blaugrün *b - F*
 80 *q q q*
 usw.

16mal 588 Goldgelb
 588 Goldgelb
 usw.

XI. $\lambda = \frac{1}{1600} \text{ mm} = 0,000625$, $\lambda_2 = \frac{1}{2300} \text{ mm} = 0,000400$.

Orange (*C* bis *D*) und Violett (nahe *H*).

Für $\delta = 0$ berechnet sich die Periode:

$$\left(4 \frac{5}{16} \frac{13}{16} 3 \frac{15}{16} \frac{3}{16} 4 \frac{7}{16} \frac{11}{16} 3 \frac{17}{16} \frac{1}{16} 4 \frac{9}{16} \frac{1}{16} 4 \frac{1}{16} \frac{17}{16} 3 \frac{11}{16} \frac{7}{16} 4 \frac{3}{16} \frac{15}{16} 3 \frac{13}{16} \frac{5}{16}\right)$$

$$\left(4 \frac{5}{16} \frac{13}{16} 3 \frac{15}{16} \frac{3}{16} 4 \frac{7}{16} \frac{11}{16} 3 \frac{17}{16} \frac{1}{16} \dots\right)$$

Für $\delta = \frac{1}{300} \text{ mm}$:

$$\left(4 \frac{5}{9} \frac{4}{9} 3 \frac{8}{9} \frac{1}{9} 4 \frac{4}{9} \frac{5}{9} 8 \frac{5}{9} \frac{4}{9} 4 \frac{1}{9} \frac{8}{9} 3 \frac{6}{9} \frac{3}{9} 4 \frac{2}{9} \frac{7}{9} 3 \frac{7}{9} \frac{2}{9}\right)$$

$$\left(4 \frac{5}{9} \frac{4}{9} 3 \frac{8}{9} \frac{1}{9} 4 \frac{4}{9} \frac{5}{9} 8 \frac{5}{9} \frac{4}{9} \dots\right)$$

oder

$$\left(4 \frac{5}{9} \frac{4}{9} 3 \frac{8}{9} \frac{1}{9} 4 \frac{4}{9} \frac{5}{9} 3 \frac{8}{9} 0 4 \frac{5}{9} \frac{4}{9} 4 \frac{1}{9} \frac{8}{9} 3 \frac{6}{9} \frac{3}{9} 4 \frac{2}{9} \frac{7}{9} 3 \frac{7}{9} \frac{2}{9}\right)$$

$$\left(4 \frac{5}{9} \frac{4}{9} 3 \frac{8}{9} \frac{1}{9} 4 \frac{4}{9} \frac{5}{9} 3 \frac{8}{9} 0 \dots\right)$$

$\delta = 0$.

4 mal 488 Grünliches Blau *F*
136 *q q*
352 Ultraviolett *N - O*

3 mal 488 Grünl. Blau *F*
407 Violett *H - G*
81 *q q q*

4 mal 488 Grünl. Blau
190 *q*
298 *q*

3 mal 488 Grünl. Blau
461 Indigo *F - G*
27 *q q q q*

4 mal 488 Grünl. Blau
244 *q*
244 *q*

4 mal 488 Grünl. Blau
27 *q q q q*
461 Indigo *F - G*

3 mal 488 Grünl. Blau
298 *q*
190 *q*

4 mal 488 Grünl. Blau
81 *q q q*
407 Violett *H - G*

3 mal 488 Grünl. Blau
352 Ultraviolett *N - O*
136 *q*

von vorne

$\delta = \frac{1}{300} \text{ mm}$

4 mal 488 Grünl. Blau *F*
163 *q*
325 Ultraviol. *Q - R*

3 mal 488 Grünl. Blau
434 Indigo *G - F*
54 *q q q*

4 mal 488 Grünl. Blau
217 *q*
271 *q*

8 mal 488 Grünl. Blau

271 *q*
217 *q*

4 mal 488 Grünl. Blau
54 *q q q*
434 Indigo *G - F*

3 mal 488 Grünl. Blau
325 Ultraviol. *Q - R*
163 *q*

4 mal 488 Grünl. Blau
108 *q q*
380 Ultraviolett *L*

3 mal 488 Grünl. Blau
380 Ultraviolett *L*
108 *q*

von vorne

XII. $\lambda_1 = \frac{1}{2000} \text{ mm} = 0,000500$; $\lambda_2 = \frac{1}{2100} \text{ mm} = 0,000476$.
 Grünblau (Mitte zwischen b und F) und Blau (nahe F).

Für $\delta = 0$ ist die Periode:

$$(40 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) (40 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) (40 \frac{1}{2} \frac{1}{2}) \dots$$

Für $\delta = \frac{1}{500} \text{ mm}$:

$$(40 \frac{5}{8} \frac{1}{8}) (40 \frac{5}{8} \frac{1}{8}) \dots$$

Für $\delta = \frac{1}{1500} \text{ mm}$:

$$(40 \frac{3}{16} \frac{23}{16}) (40 \frac{3}{16} \frac{23}{16}) \dots$$

$\delta = \frac{1}{165000} \text{ mm}$, alle Abstände gleich. Die Periode:

$$(40 \ 0 \ 1) (40 \ 0 \ 1) \dots$$

$\delta = 0.$		$\delta = \frac{1}{500} \text{ mm}.$	
40 mal	488 Grünlich Blau F	40 mal	488 Grünl. Blau
	244 q		407 Violett $H - G$
	244 q		81 $q \ q$
40 mal	488 Grünlich Blau	40 mal	488 Grünl. Blau
	244 q		407 Violett $H - G$
	244 q		81 $q \ q$
	usw.		usw.
$\delta = \frac{1}{1500} \text{ mm}.$		$\delta = \frac{1}{165000} \text{ mm}.$	
40 mal	488 Grünl. Blau	40 mal	488 Grünl. Blau
	56 $q \ q \ q$		488 "
	432 Indigo fast Violett G		
40 mal	488 Grünl. Blau	40 mal	488 "
	56 $q \ q \ q$		488 "
	432 Indigo fast Violett		usw.
	usw.		

Discussion der Rechenergebnisse. Bei der Interferenz zweier übereinstimmend geradlinig polarisierter, paralleler Lichtstrahlen von ungleicher Wellenlänge sind folgende Elemente vom Gangunterschied unabhängig;

- 1) Die Länge des Hauptabstandes;
- 2) Die Länge der großen Periode;
- 3) Die Eintheilung der großen Periode in Gruppen von Hauptabständen, geschieden durch zwei kleinere Kno-

tenabstände. Die Zahl der Gruppen in der Periode bleibt dieselbe und ebenso die Anzahl der die verschiedenen einzelnen Gruppen ausmachenden Hauptabstände.

Das in 2) und 3) Ausgesprochene ist allerdings nur mit gewissem Vorbehalt wahr, aus welchem aber keine unbesiegbare Bedenken erwachsen.

Da die Art der durch Zusammenwirken zweier ungleichartiger Lichtstrahlen hervorgehenden Empfindung vom Gangunterschied unabhängig ist, so kann also die Mischfarbe nur von den in 1), 2) und 3) angeführten Größen und Verhältnissen bedingt seyn. Man kann das in 2) und 3) Gesagte in einem gemeinsamen Ausdruck zusammenfassen, wenn man die Länge und Eintheilung der großen Periode als Rhythmus bezeichnet. Dann läßt sich das Ergebniss der Untersuchung dahin aussprechen, daß die Art der Farbenempfindung nur von der Länge des Hauptabstandes und von dem Rhythmus der resultirenden Bewegung bedingt wird.

Einfluß des Hauptabstandes. Vergleicht man die Rechenergebnisse mit der Erfahrung, so bemerkt man, daß die resultirende Empfindung gänzlich verschieden ausfallen kann von jener elementaren, welche am häufigsten auftritt und dem Hauptabstande (als halber Wellenlänge) entspricht. So ist. z. B. im Falle I die am häufigsten wiederkehrende, am längsten dauernde und intensivste Elementarempfindung ein reines Blau, hingegen die resultirende Empfindung, die Mischfarbe von Orange und Violett ist dunkel Rosa (Helmholtz, physiologische Optik 279)¹⁾.

Die am häufigsten (oder auch ausschließlic) wiederkehrende Elementarempfindung hängt nur ab von der Summe der reciproken Wellenlängen der Componenten, denn der

1) Allerdings sind in den Versuchen von Helmholtz nicht wie in meiner Rechnung die Amplituden der Componenten gleich groß, allein wenn man das Intensitätsverhältniß beliebig verändert, erhält man stets eine Mischfarbe die einen Uebergang von dunkel Rosa zu Violett oder zu Orange darstellt, niemals reines Blau. Dieselbe Bemerkung ist in den andern Fällen zu machen, wo von der empirisch erkannten Mischfarbe die Rede ist.

Hauptabstand ist, wie schon erwähnt gleich $\frac{1}{\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1}}$. In fol-

genden Fällen ist diese Summe = 3900 und die Hauptempfindung ist ein schönes Grün von der Wellenlänge 0^{mm},000512:

Aeusserstes Roth ($\lambda_1 = \frac{1}{1400}$ ^{mm}) und Violett ($\lambda_2 = \frac{1}{2800}$ ^{mm})
 erfahrungsgemässe Mischfarbe Purpur bis Carmin;

Roth ($\lambda_1 = \frac{1}{1500}$ ^{mm}) und Bläulich-Violett ($\lambda_2 = \frac{1}{2600}$ ^{mm})
 erfahrungsgemässe Mischfarbe Purpur;

Röthlich Orange ($\lambda_1 = \frac{1}{1000}$ ^{mm}) und Indigo fast Violett
 ($\lambda_2 = \frac{1}{2300}$ ^{mm}) erfahrungsgemässe Mischfarbe Rosa;

Goldgelb ($\lambda_1 = \frac{1}{1700}$ ^{mm}) und Indigoblau ($\lambda_2 = \frac{1}{2200}$ ^{mm})
 erfahrungsgemässe Mischfarbe Weiss;

Grüngelb ($\lambda_1 = \frac{1}{1800}$ ^{mm}) und Blau ($\lambda_2 = \frac{1}{2100}$ ^{mm})
 erfahrungsgemässe Mischfarbe Weisslichgrün;

Grün ($\lambda_1 = \frac{1}{1900}$ ^{mm}) und Grünblau ($\lambda_2 = \frac{1}{2000}$ ^{mm})
 erfahrungsgemässe Mischfarbe Blaugrün;

Recht auffallend ist, dass (vergl. VIII und IX)

Roth ($\lambda_1 = \frac{1}{1500}$ ^{mm}) und Blau ($\lambda_2 = \frac{1}{2500}$ ^{mm} = λ_1)
 welche erfahrungsgemäss Rosa geben und

Rothorange ($\lambda_1 = \frac{1}{1600}$ ^{mm}) und Grünblau ($\lambda_2 = \frac{1}{2000}$ ^{mm})

welche erfahrungsgemäss Gelb als Mischfarbe liefern, aus denselben Elementarhauptempfindungen, nämlich Grüngelb ($\lambda = 0,000555$) sollen gebildet werden. In beiden Fällen kann für gewisse Werthe des Gangunterschieds, nämlich im ersten Fall für $\delta = 0$ und im zweiten für $\delta = \frac{1}{32000}$ ^{mm}, die Elementarempfindung Grüngelb ununterbrochen anhalten und dennoch soll die resultirende Empfindung im ersten Falle Rosa im zweiten Falle Gelb seyn. Man kann immer, wenn die Periode von der einfachen Form a, α, β ist, Gangunterschiede δ derart bestimmen, dass alle Knotenabstände der resultirenden Bewegung gleich werden, also ununterbrochen dieselbe Elementarempfindung hervorgerufen wird. Es sind dies jene Werthe von δ , welche der Bedingungsgleichung

$$\frac{2\pi + 1 + \frac{2\delta}{\lambda_2}}{2\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} = \frac{k + \frac{\delta}{\lambda_2}}{\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1}}$$

entsprechen. Man muß aber bedenken, daß die zusammentretenden Lichtstrahlen incohärent sind, der Werth von δ also stets nur kurze Zeiten hindurch constant bleibt, dann plötzlich sich ändert und bald eine große Zahl von Werthen nach und nach annimmt, wobei dann nicht mehr die Hauptelementarempfindung ununterbrochen anhält. Deshalb können, selbst in kurzer Zeit, die Unterbrechungen doch ganz wohl zum Bewußtseyn kommen. Ein gleiches gilt für das Erkennen des Rhythmus und soll gleich an dieser Stelle bemerkt werden. Es kann, wie Beispiel XI für $\delta = \frac{1}{333}$ und Beispiel III für $\delta = \frac{1}{4}$ lehren, die Unterbrechung der Hauptabstände einmal in Wegfall kommen, also eine Gruppe weniger in jeder Periode auftreten oder der Rhythmus stellenweise verdeckt werden. Ja derselbe kann, wie mehrere andere Beispiele lehren, vollständig verdeckt werden, wenn alle Knotenabstände gleich werden. Wegen der Incohärenz der Lichtstrahlen wird aber der Rhythmus immer nur kurze Zeit hindurch theilweise oder gänzlich verdeckt bleiben, alsbald wird für eine längere Dauer der Rhythmus sich wiederherstellen und es entspringt also *hieraus* kein dauerndes Hinderniß für die Erkennung desselben.

Die zwischen den Hauptelementarempfindungen auftretenden Farbenempfindungen können gar keinen Einfluß auf die resultirende Empfindung oder die Mischfarbe äußern; denn diese eingeschalteten Empfindungen sind ihrer Art nach von dem Gangunterschiede der Strahlen abhängig. In den ersten Beispielen wird dieser Schluss kein Bedenken erregen, denn dort sind die eingeschalteten Farben nur Ultraviolett das eine geringe physiologische Wirkung hat und die Empfindungen q die möglicherweise ganz ohne physiologische Bedeutung sind. Anders aber ist es in den anderen Beispielen. So kommt in IV auf je 10 elementare Empfindungen »Grün« außer den ultravioletten

und den verschiedenen q Empfindungen, zweimal die Empfindung »Violett«, wenn $\delta = 0$, oder einmal die Empfindung »Blau« wenn $\delta = \frac{1}{700}$ und ähnlich, wenn $\delta = \frac{1}{300}$. In Beispiel V sind die eingeschalteten Empfindungen recht lebhaft, »Indigo« (zw. F und G) oder bei anderem Gangunterschied zwei Arten von »Violett« und das lebhaft »Blaugrün« (zw. F und b). Noch verschiedenartiger sind sie, je nach dem Gangunterschiede in VI; sie sind in IX fast complementär der Hauptempfindung; von großer Verschiedenheit in X; von großer Mannigfaltigkeit in XI und würden in Fällen, die für die Rechnung zu unbequem waren, dies in noch erhöhtem Maasse seyn.

Sonach hat die, gleichwohl nothwendig gewordene Annahme, die eingeschalteten elementaren Empfindungen hätten gar keinen Einfluss, nur eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit. Ebenso ist schwer zu glauben, daß die Art der Hauptempfindung einen so wenig entscheidenden Einfluss auf die Mischfarbe ausüben solle. Und doch nöthigt die Folgerichtigkeit dies anzunehmen, wenn man überhaupt auf dem von Graulich eingeschlagenen Wege; die Erscheinungen der gemischten Farben einzusehen und zu erklären versucht. Es bleibt sonach als wesentliches Moment für die Art der Farbenempfindung nur noch der Rhythmus der Bewegung übrig.

Einfluss des Rhythmus auf die Empfindung der Mischfarbe. Es ist schon besprochen worden, daß die stellenweise oder auch gänzliche Verdeckung des Rhythmus, wie sie für ganz bestimmte Werthe des Gangunterschiedes stattfindet, wegen der Incohärenz der Lichtstrahlen kein unüberwindliches Hinderniß für das Erkennen der gesetzmäßigen Anordnung der Intervalle bildet. Allein man darf und muß wohl zweifeln ob überhaupt solche lange und complicirte Rhythmen, wie sie in der resultirenden Bewegung aus zwei Wellenbewegungen ungleicher Periode vorkommen, noch unmittelbar sinnlich erfaßt werden können. In der Musik wird bekanntlich die Zahl 7 nicht mehr in der Construction der Tonintervalle verwerthet, weil sie

nicht mehr einfach genug ist und ebenso wird beim Versbau über die Zahl 5 nicht hinausgegangen, weil man mehr als 5 nicht übersichtlich zählen kann. Allerdings kommen Verse von viel größerer Silbenzahl vor, allein sie haben dann zahlreiche Cäsuren und werden dadurch in Gruppen von weit kürzerem Bau getheilt. In den hier berechneten Perioden kommen aber 6, 7, 8, ja 12, 16, 40 gleiche Intervalle ohne jegliche Cäsur vor und es können noch viel ausgedehntere Gruppen auftreten. Es ist nicht wahrscheinlich, daß das Auge, welches als physikalisch-physiologischer Apparat dem Ohre in jeder Beziehung nachsteht, viel weiter als dieses in der Auffassung von Regelmäßigkeiten gehe. Ich habe einige weniger einfache Rhythmen graphisch dargestellt und versucht sie anschaulich zu überblicken; es ist mir nicht gelungen. Schon das Schema $a_1 a_1 \beta_1, a_2 a_2 \beta_2, \dots$ ist eine sehr abgekürzte graphische Darstellung; man versuche nun ob man den Rhythmus in Beispiel III (?), VI, XI übersichtlich finde!

Die Länge der Periode und Complicirtheit des Rhythmus hängt davon ab, ob das Verhältniß der Wellenlängen sich in größeren oder kleineren Zahlen ausdrücken läßt. Sind z. B. die Wellenlängen $\frac{1}{1366} \text{ mm}$ und $\frac{1}{2106} \text{ mm}$ (Verhältniß 7:6), so hat die große Periode eine Länge von 13 Hauptabständen; sind die Wellenlängen $\frac{1}{3501} \text{ mm}$ und $\frac{1}{3101} \text{ mm}$ so ist die große Periode 3902 Hauptabstände lang, und der Rhythmus ist ein außerordentlich viel complicirter als im vorhergehenden Fall. Und doch sind trotz dieser außerordentlichen Verschiedenheit der Rhythmen die in beiden Fällen entstehenden Mischfarben durch das geübteste und feinste Auge nicht mehr zu unterscheiden.

Ferner: Gelb und Violett geben als Mischfarbe fast reines Weiß (Rhythmus $5\alpha\beta$) Goldgelb und Indigo geben gleichfalls Weiß (Rhythmus $7\alpha_1\beta_1, 7\alpha_2\beta_2, 7\alpha_3\beta_3, 7\alpha_4\beta_4, 6\alpha_5\beta_5$) Orange und Cyanblau, Roth und Blaugrün geben alle ziemlich dieselbe Mischfarbe und gänzlich verschiedene Rhythmen der durch Interferenz entstehenden Bewegung. Endlich kann dieselbe Mischfarbe auch durch drei, vier ja durch alle homogene Farben des Spectrums erhalten werden.

Die zusammengesetzten Bewegungen werden von einer unentwirrbaren Complicität. Kann man Dem gegenüber wohl glauben die Art der Farbenempfindung hänge wesentlich von dem Rhythmus der entstehenden Bewegung ab?

Es ist nicht schwer dem Vorangegangenen noch vieles in ähnlichem Sinne beizufügen. Es mag genug seyn. Alles führt dahin die Annahme Grailich's als höchst unwahrscheinlich und unhaltbar anzusehen und allgemein den Versuch mittelst des Principis der Interferenzen der Lichtbewegungen die Erscheinungen der Mischfarben verstehen zu wollen, als einen unfruchtbaren darzustellen.

Meine Betrachtungen haben Gültigkeit, wenn man sie auf die Grailich'sche Theorie in ihrer ungeänderten Darstellung anwendet, auch wenn man, wie Radicke vorschlägt¹⁾ die Farbe als Function der Undulationsdauer ansieht oder wenn man in irgend anderer Weise aus der Gestalt, der, die aus verschiedenen Wellenbewegungen zusammengesetzte Bewegung darstellenden Curven, auf die entstehende Empfindung schliessen will. Die zusammengesetzte Bewegung ist von dem Gangunterschiede der interferirenden Strahlen abhängig; die Empfindung der Mischfarbe aber ist von diesen ganz unabhängig, was unter anderem, dadurch bewiesen wird, daß zwei incohärente Lichtstrahlen *dauernd* sich zu derselben Mischfarbe zusammensetzen.

Ich bin dazu gelangt die Theorie des Farbensehens und der Mischfarben als eine offene Frage zu bezeichnen. Ich mache keinen Vorschlag zu ihrer Lösung. Wenn es mir aber gelungen ist darzuthun, daß die von gewichtiger Autorität gestützte Young'sche Hypothese nicht die wahre Erklärung geben kann und nachzuweisen, daß auch der von Grailich, in einer langen, mit größter Mühe und mit vieler Gelehrsamkeit ausgeführten Abhandlung, eingeschlagene Weg nicht zum Ziele führen kann, so glaube ich keine unnützliche Arbeit gethan zu haben.

Giessen, April 1865.

VIII. Ueber die Veränderung der elektromotorischen Kräfte zwischen Metallen und Flüssigkeiten durch den Druck; von H. Wild.

(Aus den Berner Mittheilungen, vom Hrn. Verf. überandt.)

Hr. E. du Bois-Reymond hat zuerst eine besondere Untersuchung angestellt über die elektrischen Ströme, welche durch verschiedenen Druck auf zwei gleichartige, in eine Flüssigkeit eintauchende Elektroden erzeugt werden¹⁾. Dabei wurde so verfahren, daß man die eine Elektrode entweder direct zwischen den Fingern presste oder einen Bauach, in dem sie steckte, mit Gewichten beschwerte und so einen höhern Druck auf sie ausübte. Bei dieser Operationsweise sind offenbar kleine Erschütterungen resp. Reibungen der Elektroden unvermeidlich, und es hat daher auch Hr. du Bois bereits diese Ströme mit den durch Schütteln der einen Elektrode erregten verglichen. Es zeigte sich indessen hierbei keine durchgehende Uebereinstimmung beider Wirkungen, so daß Hr. du Bois die Frage als noch nicht endgültig entschieden betrachtete, der Verwicklung halber aber eine Lösung derselben von seinem Standpunkte aus nicht der aufzuwendenden Mühe werth hielt. Es ist nun aber möglich, diese Verwicklung, die aus der bei der angedeuteten Operationsweise nothwendigen Vergleichung der Druckwirkung mit der Wirkung des Erschütterns entsteht, zu vermeiden, also auf einfachem Wege die vom physikalischen Standpunkte aus interessante Frage zu lösen, ob durch bloßen Druck die elektromotorische Kraft zwischen einem Metall und einer Flüssigkeit verändert werde, wenn es gelingt einen Druck auf die eine Elektrode auszuüben, ohne dieselbe dabei im Geringsten zu erschüttern oder zu reiben. Mein Freund, Hr. Quincke hat bei Gelegenheit seiner Untersuchung über die von ihm entdeckten Diaphragmenströme einen hierher gehörigen Ver-

1) Monatsberichte der Berliner Academie v. 1854, S. 288.

such angestellt¹⁾. Er schaltete nämlich bei seinem Apparate statt des Diaphragma eine dicke Platin- oder Kupferplatte ein und übte dann mittelst einer Druckpumpe auf das Wasser in der einen Abtheilung einen solchen Druck aus, daß die in den beiden Abtheilungen befindlichen Platinelektroden einen um 2,5 Atmosphären verschiedenen Druck auszuhalten hatten. Es zeigte sich keinerlei Wirkung auf die Nadel des sehr empfindlichen Multipliers. Von diesen Versuchen ist indessen nur der mit der Kupferplatte für unsere Frage als ganz entscheidend zu betrachten. Bezeichnen wir nämlich die elektromotorische Kraft zwischen Platin und destillirtem Wasser mit P und die zwischen Kupfer und destillirtem Wasser mit K , so haben wir für die Summe der elektromotorischen Kräfte im Schließungskreise bei gleichem Drucke in beiden Abtheilungen:

$$P - P + P - P = P - K + K - P = 0,$$

je nachdem die Platin- oder Kupferplatte statt des Diaphragma eingeschaltet ist; dagegen bei verschiedenem Drucke in den beiden Abtheilungen:

$$kP - kP + P - P = 0 \text{ und}$$

$$kP - k_1 K + K - P;$$

wenn die Coëfficienten k und k_1 die allfälligen Veränderungen darstellen, welche die betreffenden elektromotorischen Kräfte durch die Druckerhöhung erleiden. Nur in dem letzten Falle wäre also die Summe der elektromotorischen Kräfte nicht Null und auch da würde der Strom trotz der Veränderung der elektromotorischen Kräfte durch den Druck verschwinden, wenn bei dem eben stattfindenden Drucke zufällig:

$$P(k - 1) = K(k_1 - 1)$$

wäre, was allerdings kaum zu erwarten ist. Die Versuche des Hrn. Quincke beziehen sich überdiß bloß auf destillirtes Wasser und Kupfer und Platin; bei den Untersuchungen des Hrn. du Bois ergaben sich aber durch Drücken und Erschüttern von Kupfer und Zinkelektroden bedeutendere Ströme als für Platinelektroden und ebenso

größere Ausschläge bei der Anwendung von Salzlösungen als bei Brunnenwasser. Es wäre daher gedenkbar, daß z. B. für Zinkvitriollösung und Zinkelektroden der Druck doch eine merkbare Wirkung ausüben würde.

Demgemäß habe ich für *Zinkelektroden* und *Zinkvitriollösung* die Wirkung des Drucks nach einer Methode untersucht, die ebenfalls wie die von Hrn. Quincke jede Erschütterung oder Reibung der Elektroden ausschließt, zugleich aber auch außer dem Zink nicht noch ein anderes Metall mit in's Spiel zieht und daher keinem Zweifel mehr Raum läßt. Das Princip dieser Methode besteht einfach darin, eine lange Röhre an den Enden mit Zinkelektroden zu versehen und mit Zinkvitriollösung zu füllen; liegt die Röhre horizontal, so haben beide Elektroden gleichen Druck auszuhalten; wird sie dagegen vertical gerichtet, so wird der Druck auf die untere um das Gewicht der auf ihr ruhenden Flüssigkeitssäule vermehrt.

Die unmittelbare practische Ausführung dieser Idee führte indessen zu einigen Schwierigkeiten. Bei einem ersten Versuche nämlich wurden drei Glasröhren von nahe 1^m Länge und 10 bis 12^{mm} innerm Durchmesser mittelst durchbohrter Korken zu einer Röhre von 2^m,9 Länge zusammengesetzt, die Enden mit Korken verschlossen, durch welche Zinkdrähte hindurchgesteckt waren; und dieselbe bis auf eine kleine übrigbleibende Luftblase ganz mit Zinkvitriollösung vom specifischen Gewicht 1,10 gefüllt, nachdem man sie vorher auf einer nahe gleich langen Holzlatte befestigt hatte. Vermittelst dieser Holzlatte war sie dann an einem Stative so angebracht, daß sie um ihre Mitte gedreht und so nach Belieben vertical oder horizontal gestellt werden konnte. An die Zinkelektroden waren außerhalb lange Kupferdrähte angelöthet, die zunächst zu einem Gyrotropen und von da weiter zu einem sehr empfindlichen Galvanometer führten. Es war dieß ein von Sauerwald in Berlin verfertigter du Bois'scher Multiplicator mit 30,000 Windungen, den mir Hr. Professor Valentin gütigst aus der Sammlung des physiologischen Instituts lieh.

An dem astatischen Nadelpaar war oberhalb ein ganz leichtes Spiegelchen befestigt, so daß der Stand der Magnetnadeln mit Fernrohr und Scale beobachtet werden konnte. Die Entfernung der Millimeterscale vom Spiegel betrug 1300^{mm}; einer scheinbaren Bewegung der Scale vor dem Fadenkreuz des Fernrohrs um einen Scalentheil entsprach daher eine Ablenkung der Nadel um 80". Die Zinkdrahtelektroden waren amalgamirt worden, auch vom Kork an im Innern etwa 10^{mm} weit mit Wachs überzogen; man erhielt demgemäß nach der Schließung bei horizontaler Stellung der Röhre nur einen geringen anfänglichen Ausschlag von einigen Scalentheilen. Um die Empfindlichkeit des Multiplicators zu prüfen, brachte ich zugleich mit der Röhre 10 Elemente meiner anderwärts bereits beschriebenen Thermokette von Kupfer und Argentan¹⁾ in die Schließung und ließ sie bei 10° Temperatur-Differenz der Löthstellen einmal entgegen, das andere Mal im gleichen Sinne wie die Hydrokette auf den Multiplicator wirken. Daraus ergab sich, daß bei dem stattfindenden Widerstande die Thermokette für sich bei 10° Temperatur-Differenz der Löthstellen eine constante Ablenkung von 44 Scalentheilen erzeugt haben würde. Hieraus läßt sich gemäß den Bestimmungen über die elektromotorische Kraft meiner Thermokette am angeführten Orte berechnen, daß eine elektromotorische Kraft von $10^4 \cdot 274$ in absolutem elektromotorischem Maasse oder von $\frac{1}{10000}$ der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Elementes bei dem stattfindenden Widerstand der ganzen Schließung noch eine Ablenkung von einem Scalentheile an unserm Multiplicator erzeugt hätte. Als nun bei den Versuchen die Röhre aus der horizontalen Stellung plötzlich in die verticale gebracht wurde ergaben sich durchweg starke Ausschläge der Multiplicatornadel, die überdies noch viel größer wurden, sowie man bei verticaler Stellung der Röhre eine Drehung um 180° vornahm, so daß die obere Elektrode nunmehr nach unten zu liegen kam und umgekehrt. Ich erkannte indessen bald, daß die

1) Pogg. Ann. Bd. 103, S. 368.

erstern schwächern Ströme Erschütterungen der Flüssigkeit um die eine oder andere Elektrode zuzuschreiben waren und die stärkern dem vorübergehenden Contact der einen oder andern Elektrode mit Luft. Es stellte sich nämlich stets an dem nach oben gekehrten Röhrenende unmittelbar nach der Füllung eine kleinere oder grössere Luftblase unterhalb des Korkes her; bei der Aufrichtung der Röhre aus der horizontalen in die verticale Stellung machte dieselbe eine kleine Bewegung, welche hinreichte, die Flüssigkeit um diese Elektrode zu erschüttern; und bei der Umkehrung der Röhre aus der einen Verticallage in die andere bewegte sich die Luftblase vom einen Röhrenende zum andern, erschütterte nach einander die Flüssigkeit um beide Elektroden und kam dabei außerdem in der Regel mit den unbedeckten Theilen der Elektroden zur Berührung. Dafs diese Erklärung der beobachteten Ströme die richtige sey, ergab sich einmal daraus, dafs sie sehr schnell wieder verschwanden, so wie die Röhre in Ruhe blieb; ferner daraus, dafs man ganz entsprechende Nadelausschläge erhielt, als bei unveränderter Horizontalstellung die Röhre etwas erschüttert, oder dann nur so schwach geneigt wurde, dafs die Luftblase eben vom einen Ende zum andern sich bewegte. Der Gedanke lag nahe, zu einem Entscheid der Frage trotz dessen dadurch zu gelangen, dafs man einfach diese durch die Röhrenbewegung entstandenen Ströme vorübergehen liefs und dann nach einiger Zeit den stationären Stand der Nadel bei der Verticalstellung der Röhre mit dem frühern und spätern bei horizontaler Stellung verglich. Dabei ergaben sich in der That schliesslich am Galvanometer constante Ablenkungen von 5 bis 10 Scalenthellen; allein diese Ablenkungen konnten sowohl ihrer Richtung als Gröfse nach ganz gut durch thermo-elektrische Ströme bedingt werden. Die Temperatur an der Decke des Zimmers war nämlich stets $\frac{1}{2}$ bis 1° höher als am Boden desselben, wie an beiden Orten angebrachte Thermometer anzeigten; bei längerem Verweilen in der Verticalstellung mußte daher die obere Zinkelektrode eine

etwas höhere Temperatur als die untere annehmen. Gemäß meinen frühern Messungen über die Größe der thermoelektromotorischen Kraft zwischen Zink und Zinkvitriol¹⁾ genügt aber eine Temperaturdifferenz von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}^{\circ}$ der beiden Elektroden, um bei der in unserm Falle stattfindenden Empfindlichkeit des Multipliers eine Ablenkung von 5 bis 10 Scalentheilen hervorzubringen. Da es nun überdies einige Male gelang, bei der Aufrichtung der Röhre aus der horizontalen Stellung in die verticale jede Erschütterung zu vermeiden und die Bewegung der Luftblase am einen Ende auf ein Minimum zu reduciren und dabei dann gleich zu Anfang keine Bewegung der Magnetnadel erfolgte, so bemühte ich mich, eine entscheidende Lösung der Frage dadurch zu erzielen, daß ich die störende Luftblase durch geeignete Einrichtung des Apparates ganz ausschloß. So gelangte ich schließlich zu der folgenden Vorrichtung, die mich ganz befriedigte. In die dicke Seitenwand eines kleinen oben offenen Holzkastens wurden zwei knieförmig gebogene Glasröhren von ungefähr 11^{mm} innern Durchmesser mittelst Korke wasserdicht und drehbar eingesetzt. Mit Hilfe durchbohrter Korke setzte man an die äußern nach unten gerichteten Schenkel noch zwei etwa 1^m lange Röhren an, welche dann an ihren untern Enden wie die oben beschriebene Röhre mit Zinkdrahtelektroden versehen und im Uebrigen wasserdicht verschlossen waren. Goss man nun in den Kasten, nachdem derselbe am Rande eines Tisches in passender Höhe befestigt worden war, Zinkvitriollösung, so füllten sich die beiden Röhren vollständig von da aus mit derselben an; man brachte dann noch so viel Lösung hinzu, daß die Oberfläche der Flüssigkeit um ungefähr 10^{mm} über den Oeffnungen der Röhren im Innern des Kastens stand. Beim Drehen der einen oder andern Röhre aus der verticalen Stellung nach unten in die nach oben erhielt sie demzufolge der äußere Luftdruck, wie ein abgekürztes Quecksilberbarometer, gefüllt und die Druckdifferenz auf die untere und obere Elektrode war, dañ

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 103, S. 411.

doch wie oben entsprechend dem Gewicht einer Flüssig-
 keitssäule von einer Höhe gleich ihrem verticalen Abstand.
 Der letztere betrug 2,9^m, und da, wie schon oben erwähnt
 wurde, das specifische Gewicht der angewandten Zinkvi-
 triollösung 1,10 war, so betrug also der Druckunterschied
 319 Grm. auf 1 Quadrat-Centimeter oder nahe $\frac{1}{3}$ Atm. Als
 man nach der Einfüllung der Lösung die Elektroden, wäh-
 rend beide Röhren vertical nach unten gerichtet waren, mit
 dem Multiplicator verband, war nur ein sehr schwacher
 anfänglicher Strom da, der die Nadel um einige Scalentheile
 ablenkte. Nachdem die letztere vollständig zur Ruhe
 gekommen war, ließ ich durch einen Gehülfen die eine
 Röhre vertical emporrichten, sodann nach Verlauf einiger
 Secunden wieder in die frühere Lage zurückdrehen und
 die zweite statt ihrer vertical nach oben stellen. Weder
 bei der einen noch bei der andern Operation konnte ich
 auch nur die geringste Ablenkung oder Zuckung der Mag-
 netnadel wahrnehmen. Ließ man aber die eine Röhre
 längere Zeit in der untern und die andere in der obern
 Stellung, oder berührte die eine Elektrode aufsen mit den
 Fingern, so erfolgte ein starker Ausschlag der Nadel durch
 den entstehenden thermo-elektrischen Strom. Da nun nach
 der ersten Operation die erste Elektrode einem um ein
 $\frac{1}{3}$ Atm. geringern Druck, nach der zweiten aber einem um
 $\frac{1}{3}$ Atm. größern Druck ausgesetzt war, als die zweite Elek-
 trode, so läßt sich aus unserer Beobachtung, die übrigens
 mehrere Male wiederholt wurde, mit Sicherheit schließen,
 daß die elektromotorische Kraft zwischen amalgamirtem
 Zink und Zinkvitriollösung durch Vermehrung des Druckes
 um $\frac{1}{3}$ Atm. nicht um eine GröÙe verändert wird, welche
 $\frac{1}{200000}$ der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Ele-
 mentes entspricht. Dadurch scheint mir denn in Verbin-
 dung mit dem Versuch des Hrn. Quincke hienlänglich be-
 wiesen, daß überhaupt die elektromotorische Kraft zwischen
 Metallen und Flüssigkeiten durch den Druck nicht verän-
 dert wird. Die Ströme die Hr. du Bois-Reymond beim
 Drücken der Elektroden erhielt, sind also in der That, wie

er es bereits wahrscheinlich gemacht hat, bloß der Erschütterung derselben zuzuschreiben, wodurch eben die Polarisation, resp. anhängende Gasschichten, verändert werden.

IX. Ueber die Elektricitätsleitung in Elektrolyten, welche in Capillarröhren eingeschlossen sind; von W. Beetz.

In den *Annales du conservatoire des arts et des métiers*, Avril 1861, hat Edmond Becquerel Untersuchungen über die Leitungsfähigkeit von Flüssigkeiten in Capillarröhren veröffentlicht, deren Hauptergebnisse folgende sind. Der Widerstand solcher Flüssigkeitssäulen steht im geraden Verhältniß zu deren Längen, aber nicht im umgekehrten zu deren Querschnitt, vielmehr nimmt das Product des Widerstandes in das Quadrat des Durchmessers des Querschnittes mit diesem Durchmesser ab. Becquerel läßt es unentschieden, ob diese Abweichung vom allgemeinen Gesetze der Stromleitung auf einer ungenauen Bestimmung des Querschnittes der Capillarröhren oder auf einer Veränderung in der Leitungsfähigkeit der Flüssigkeitssäule beruhe, und wenn der letztere Grund als der richtige anzusehen sey, ob die Röhrenwände an der Leitung Theil nehmen, oder ob die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit selbst durch die Molecularwirkung der Wände vergrößert sey. Von vorn herein läßt sich gegen die Zulässigkeit aller dieser Gründe gewiß Nichts einwenden; da ich indess bei Gelegenheit meiner Untersuchungen über das elektrische Leitungsvermögen der Flüssigkeiten mich auch anfangs ziemlich enger Röhren bedient und mit denselben nahezu dieselben Resultate erhalten hatte, wie mit weiteren Röhren¹⁾, so war mir die Richtigkeit der Thatsache selbst

1) Diese Annalen Bd. CXVII, S. 1.*

zweifelhaft. Ich habe deshalb Versuche mit Capillarrohren angestellt, aus deren Ergebniss ich schliessen darf, dass die von E. Becquerel beobachtete Erscheinung nur durch seine Beobachtungsmethode hervorgerufen ward.

Diese Methode war folgende: In zwei mit dem Elektrolyten gefüllte Reagensgläser tauchte je ein, in halbe Millimeter getheiltes Capillarrohr. Jederseits war ein Leitungsdraht zum Boden des Reagensglases geführt, ein anderer bis zu einer bestimmten Tiefe in das Capillarrohr geschoben, dessen Durchschnitt er fast ganz ausfüllte. Ein Strom wurde durch diese beiden Zweige und durch die Windungen eines Differentialgalvanometers geleitet, dessen Nadel dadurch auf Null gebracht wurde, dass der Draht in einen Capillarrohr verschoben wurde. Der Auszug ¹⁾ aus der Abhandlung, welcher mir leider allein zugänglich war, lässt nicht ersehen, durch welches Mittel die störenden Einflüsse der Polarisation bei den verschiedenen Stromdichten vermieden wurden.

Ich stellte meine Versuche wiederum mit Zinkvitriollösung zwischen amalgamirten Zinkplatten an, um mich des Vortheils der Unpolarisirbarkeit der Elektroden bedienen zu können. Die seitlichen Oeffnungen der a. a. O. S. 5 beschriebenen Flaschen wurden durch Kautschukstöpsel geschlossen, das Capillarrohr wurde durch Oeffnungen luftdicht durch diese Stöpsel geschoben, so dass es ein wenig über die inneren Enden derselben hervorragte; dann wurden die Flaschen mit der zu prüfenden Lösung gefüllt, und diese durch längeres Saugen eine Zeit lang durch das Capillarrohr hindurchgeführt, um eine möglichst gleichmässige Benetzung der Röhrenwände zu erzeugen.

Dann wurde der Apparat in einen Blechkasten gestellt und dieser mit einem Blechdeckel so geschlossen, dass nur die Flaschenöffnungen frei blieben. Durch diese wurden amalgamirte Zinkplatten eingeführt, welche den Röhrenmündungen nahe gegenüber gestellt wurden. Die Vorsichts-

1) *Archives des sciences physiques et naturelles. Nouvelle période T. XII, p. 380*.*

maßregeln gegen das Einmischen von Luft in die Lösung waren die früheren. Die Temperatur wurde in einer der Flaschen gemessen. Ein Umgeben der Röhren mit Wasser wurde vermieden; vielmehr wurde das Aeußere des Glasapparates sorgfältig trocken gehalten, weil bei den großen Widerständen, um die es sich hier handelt, ein Einfluß der Leitung durch die feuchten Gefäßwände und die Kastenwände bemerklich wurde. Die Versuche sind deshalb nur bei gewöhnlicher Temperatur und nachdem der Apparat stundenlang Zeit gehabt hatte durchweg die gleiche Temperatur anzunehmen angestellt. Das Verfahren der Messung ist ganz dem gleich, welches früher für die weiteren Röhren angewandt wurde, nur mußten die Zweigeleitungen der Siemens'schen Widerstandsbrücke nicht im Verhältniß 1:1, sondern 1:100 genommen werden.

Die Röhren, deren ich mich bediente, waren aus einem großen Vorrathe von Capillarröhren ausgewählt, und durch Calibrirung als hinreichend cylindrisch erprobt worden. Ihr Durchschnitt wurde gefunden, indem die Länge, das Gewicht und die Temperatur eines in sie eingesogenen Quecksilberfadens bestimmt wurden. Die folgende Tabelle giebt für die mit No. 1 bis 4 bezeichneten Röhren diese Bestimmungen, und die aus denselben berechneten Größen des Querschnitts in Quadratmillimetern, $= d$.

No.	Länge der Quecksilbersäule mm	Gewicht Grm.	Temp.	spec. Gew. des Quecksilbers	d
1	161,2	0,827	17°,5	13,555	0,3785
2	{ 108,6 143,9	{ 0,099 0,131	{ 16°,0	13,558	0,06718
3	{ 108,6 113,2	{ 1,305 0,043	{ 18°,0 13°,2	13,554 13,565	0,8866
4	{ 113,2 77,7	{ 0,043 0,030	{ 13°,2 13°,7	13,565 13,564	0,02823

Die Zinkvitriollösungen wurden theils aus demselben Vitriol bereitet, mit welchem die früher bekannt gemachten Vitriollösungen dargestellt waren (Lösungen II und III), theils aus freier Säure

wenig besser leitend als die anderen. Der Widerstand (W), der mit diesen Lösungen gefüllten Röhre, welche früher zur Bestimmung der Widerstände gedient hatte (des Normalrohrs, a. a. O. S. 15) wurde ganz wie sonst gemessen, daraus wurde dann die Leitungsfähigkeit der Lösung bei 20° , auf die des Quecksilbers bei 0° reducirt, berechnet, und aus dieser die Leitungsfähigkeit bei 20° mittelst der a. a. O. S. 21. für den Zuwachs Z_1 gegebenen Correctionsformel abgeleitet¹⁾. Die so erhaltenen Zahlen für λ_{20} zeigen bei den Lösungen II und III eine vollkommene Uebereinstimmung mit den nach der empirischen Formel berechneten, bei I und IV fallen sie etwas zu groß aus. Ich habe indeß im Folgenden stets die aus der Beobachtung hervorgegangenen Werthe von λ_{20} zu Grunde gelegt, und die empirische Formel nur zur Temperaturcorrection benutzt, was um so gewisser erlaubt seyn wird, als es sich nur um Unterschiede von wenigen Graden handelt. Die mit derselben Lösung angestellten Messungen sind mit verschiedenen Füllungen und der Zeit nach abwechselnd mit den weiter unten folgenden Messungen an Capillarröhren ausgeführt:

No.	Salzgehalt in 100 Grm.		W.	λ_0	λ_{20}		Δ
	Lösung	Wasser			aus d. Versuch	aus d. Formel	
I.	10,69 10,74	10,21 10,20	11,3 13,5	754,4 712,5	2802 2973	3451 3158	
			16,9	607,5	3030	3336	
				Mittel	3415	3173	+ 242
II.	14,53 14,38	14,42 16,85	10,9 16,3	675,8 584,6	3128 3615	3951 3942	
	14,35		16,4	587,6	3597	3916	
				Mittel	3936	3876	+ 60
III.	15,16 15,13	15,14 18,05	13,3 14,7	621,4 596,3	3409 3545	4023 4031	
				Mittel	4027	4014	+ 13
IV.	28,62	40,09	10,7	622,8	3392	4586	+ 276

1) Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, daß die Ueberschrift über der Tabelle a. a. O. S. 20 heißen muß: Leitungsfähigkeit bei 20° , nicht bei 20° .

Die für λ_1 und λ_{20} gefundenen Zahlen sind wieder mit 10^{-9} multiplicirt zu denken.

Die folgende Tabelle endlich, enthält die Ergebnisse der mit Capillarrohren angestellten Messungen. Aus den gemessenen Widerständen $= w$, der Länge $= l$ und der Durchschnittsfläche des Rohres $= d$ wurde die Leitungsfähigkeit λ gefunden; zum Vergleich stehen in der nächsten Spalte die aus den Messungen am Normalrohr abgeleiteten Werthe von λ .

Rohr	l (Meter)	Lösung	l	w	aus d. Capillarrohre	aus d. Normalrohre	$\frac{\lambda_1}{\lambda_{20}}$
1	0,1841	I	13,0	169500	2870	2893	- 23
			13,7	167600	2902	2945	- 43
			15,6	158000	3093	3087	+ 5
			17,7	137800	3530	3603	- 73
			15,9	136100	3574	3573	+ 1
2	0,1820	I	13,7	925000	2945	2930	+ 15
			11,0	985000	2750	2744	+ 6
		II	16,4	753100	3596	3618	- 22
			17,0	750000	3612	3621	- 59
			15,9	738000	3671	3651	+ 20
3	0,1830	I	10,7	791000	3425	3392	+ 33
			17,8	63500	3251	3251	0
			12,5	71500	2887	2856	+ 31
		II	15,6	58410	3535	3547	+ 12
			16,0	772000	3612	3583	+ 65
4a	0,0782	II	14,3	763000	3660	3550	+ 110
4b	0,0933	II	15,8	920000	3621	3564	+ 57
4c	0,0600	II	15,6	594500	3575	3547	+ 28

Die drei Röhren 4a, 4b und 4c sind Stücke ein und desselben Rohres. Da die drei Versuche mit der Lösung II nahezu bei derselben Temperatur angestellt sind, so lassen sich die gefundenen Widerstände direct mit den Längen der Rohrstücke vergleichen. Die Quotienten $\frac{w}{l}$ sind:

9872122

9878847

9908334

Die Uebereinstimmung dieser Quotienten liefert einen

portionalität der Widerstände mit den Längen bei gleichbleibendem Querschnitt. Die Uebereinstimmung der aus der Messung an Capillarröhren von so verschiedenem Durchmesser und aus der Messung am Normalrohr berechneten Leitungsfähigkeit von Lösungen so verschiedener Concentration liefert ferner den Beweis, daß die Widerstände den Querschnitt auch in Capillarröhren, umgekehrt proportional sind. Diese Uebereinstimmung ist in der That eine grössere als man erwarten konnte, offenbar weil alle Messungen bei gewöhnlicher Temperatur im ungeheizten Zimmer ausgeführt wurden. Die Schwierigkeit, dem ganzen Apparate eine gleichmäßige Temperatur zu erhalten, ist dadurch sehr vermindert. Eine überwiegende Leitungsfähigkeit zeigen die Flüssigkeitssäulen in den Capillarröhren durchaus nicht, vielmehr sind die Differenzen gesetzlos positiv oder negativ.

Als Grund, weshalb E. Becquerel zu einem anderen Resultat gelangte, sehe ich die verschiedene Erwärmung der Flüssigkeitssäulen an. Bei meinen Versuchen geschieht die Schließung immer nur momentan durch Anschlagen des Contacthebels. Würde man die Schließung nur kurze Zeit andauern lassen, so würde der Widerstand der Flüssigkeit fort und fort abnehmen. Wahrscheinlich blieben die Zweige bei Becquerel's Versuchen längere Zeit geschlossen, und da die Nadel, dadurch ins Gleichgewicht gebracht wurde, daß beiderseits Flüssigkeitssäulen von gleichem Widerstande, aber nicht congruenter, sondern nur ähnlicher Gestalt eingeschaltet wurden, so mußte die beiderseits gleiche Wärme-Erregung eine stärkere Erwärmung der dünneren Säule erzeugen, und dieser also eine überwiegende Leitungsfähigkeit erteilen.

Mist man mittelst einer Siemens'schen Brücke die Widerstände von Quecksilbersäulen in Capillarröhren, indem man den Contacthebel nur kurz anschlägt, so erhält man eine vollständige Proportionalität zwischen Leitungsvorgängen und Querschnitt der Röhren. Läßt man den Contacthebel geschlossen, so nimmt scheinbar der Widerstand des Quecksilbers ab, weil nämlich der Widerstand den man

senden Kupferspiralen mit der Temperatur schneller wächst, als der des Quecksilbers. Wenn aber E. Becquerel seinen Versuch mit Capillarrohren anstellen würde, welche mit Quecksilber, statt mit einem Elektrolyt gefüllt wären, so würde sich eine Abnahme des Leitungsvermögens mit der Verkleinerung des Querschnittes bemerklich machen. (Erlangen, im April 1863.)

X. Ueber das Verhalten der starren Isolatoren gegen Elektricität; von Dr. W. b. Bezold.

(Aus d. Berichten d. Münchener Akad. 1864; vom Hrn. Verf. übersandt.)

Bekanntlich theilt man die Körper hinsichtlich ihres elektrischen Verhaltens in zwei Klassen, in Conductoren und Isolatoren. Während die ersteren der Gegenstand häufiger und eingehender Untersuchungen waren, hat man dem Verhalten der letzteren, obgleich man gerade an ihnen die ersten elektrischen Erscheinungen wahrgenommen hatte und sie deshalb lange Zeit vorzugsweise elektrische, die Leiter aber unelektrische Körper nannte, später doch nur wenig Aufmerksamkeit zugewendet. Man betrachtete sie fast als vollkommen indifferent gegen Elektricität und studirte sie nur in sofern als die Technik der Versuche es erforderte. Eine einzige Erscheinung war es, die immer wieder daran mahnte, daß diese Indifferenz doch keine so vollkommene sey, ich meine, die eigenthümliche Rolle, welche das leitende Mittel bei Condensatoren, Leydener Flaschen oder Franklin'schen Tafeln spielt, die sich in der sogenannten Rückstands- oder in dem nach der Ladung eintretenden Sinken derselben und in der nach allmähligster Entladung wieder auftretenden Ladung kund giebt.)

Diese Thatsache hat zu verschiedenen Forschungen angeregt, die man theilweise in einer Abhandlung citirt (fig.

der die der Verfasser in Progenдорff's Ann. Bd. CXIV, S. 404, veröffentlicht hat. Dieser Aufsatz sollte die Einleitung bilden zu den Untersuchungen, deren Hauptresultate er hier in einigen Worten sich mitzutheilen erlaubt.

Es wurde damals erwähnt, daß Kohlrausch der erste und einzige war, welcher sich über das Verhalten der Isolatoren in diesem Falle eine präzise Anschauung gebildet hatte. Er nahm an, daß die Scheidekraft, welche durch die auf den Belegungen vertheilten Elektricitätsmengen ausgeübt wird, entweder in den kleinsten Theilen Scheidungen bewirke, oder die Theilchen, in denen solche geschiedene Elektricitätsmengen bereits vorhanden seyen, durch Drehung in eine solche Lage bringe, daß sie ein elektro-statisches Moment auf die Belegungen ausüben, und dadurch die Spannungs-Erscheinungen beeinflussen.

In der erwähnten Abhandlung wurde gezeigt, daß sich aus dieser Anschauung zwei Consequenzen unabweisbar ergeben. Soll nämlich die Kohlrausch'sche Ansicht richtig seyn, so darf

1) keine kleine Zwischenschicht, also z. B. das Bindemittel, auf das Verschwinden der Ladung, d. h. auf die Rückstandsbildung, von keinem Einfluß seyn, 2) muß, so lange nur die Belegungen groß sind, im Verhältniß zu ihrer Entfernung, diese Erscheinung ganz die gleiche bleiben, ob man dicke oder dünne Platten als Isolatoren wählt, so lange diese nur aus demselben Materiale bestehen.

Daß die erstere dieser Folgerungen nicht erfüllt sey, hat der Verf. schon früher nachgewiesen, und auch später bestätigt gefunden.

Nachdem es nur durch gütige Vermittlung des Hrn. Dr. Quincke acht sehr schöne Glasaufeln von verschiedener Dicke (paarweise gleich), aus einem Hafen geblasen, und in derselben Weise gekühlt, erhalten hatte, war er in Stand gesetzt, auch auf den zweiten Punkt einzugehen.

Die Versuche ergaben, daß die Veränderungen bei den

VII. Die Tafeln mit wesentlich verschiedener Geschwindigkeit eintreten, so zwar, daß sich die Zeiten, welche verstrichen, bis die Ladung um den gleichen Betrag der ursprünglichen gesunken war, sich nähern wie die Dicken dieser Tafeln verhalten.

Die Kohlrausch'sche Ansicht von dem Verhalten der Isolatoren ist mithin durchaus unhaltbar.

Es fragt sich nun, welche Hypothese man an deren Stelle setzen könnte.

Die theoretischen Untersuchungen von Kirchhoff und die experimentellen von Kohlrausch haben bekanntlich hauptsächlich der Elektricitätsbewegung in Leitern zu den folgenden Anschauungen geführt.

Sobald ein Strom sich hergestellt hat, befindet sich im Innern der Leiter keine freie Elektricität mehr, sondern nur an der Oberfläche derselben und an den Berührungsstellen heterogener Metalle. Diese freien Elektricitäten üben durch Fernwirkung auf die inneren Theile der Leiter Kräfte aus, welche in jedem kleinsten Theilchen beständige Scheidung und Wiederverbindung der Elektricitäten hervordringen, und somit eine Bewegung der einen Elektricitätsart nach der einen Seite, der anderen nach der entgegengesetzten bedingen.

Kann man nun diese Anschauung auch auf die Isolatoren übertragen, kann man sie einfach als schlechte Leiter betrachten, als Leiter, die sich von den guten nur dadurch unterscheiden, daß die Kräfte, welche erforderlich sind, um gleiche Mengen zu scheiden, ungemein viel größer seyn müssen?

Mit anderen Worten: Ist es die Einwirkung der auf den Belegungen vertheilten Elektricitätsmengen, welche in den kleinsten Theilchen Scheidungen hervorruft, dadurch die beiden Elektricitäten nach beiden Seiten in Bewegung

1) Dies bezieht sich nur, wie alle späteren Vergleiche auf die ersten Minuten nach Mittheilung der Ladung, und die numerischen Ausgaben sind hier bloße Approximationen.

setzt, und hierdurch die Erscheinungen der Rückstandsbildungen bedingt?

Eine theoretische Untersuchung zeigt, daß in diesem Falle der Einfluß von sehr dünnen Zwischenschichten ebenfalls verschwindend klein seyn müßte, wie nach der Kohlrausch'schen Ansicht, und daß der Einfluß der Dicke sich ebenso wenig geltend machen könnte. Ueberdies ließe sich für diese Hypothese leicht die Gestalt der Curve bestimmen, welche die disponible Ladung (das Potential) als Function der Zeit darstellt, und diese steht mit der wirklich beobachteten in Widerspruch. Wir werden mithin zu dem Resultate geführt, daß keinesfalls die Fernwirkung der auf den Belegungen befindlichen Elektricitäten allein es ist, welche im Innern der Isolatoren Elektricitätsbewegungen hervorbringt. Daß aber diese Fernwirkung doch nicht vollkommen ausgeschlossen ist, läßt sich ebenso durch das Experiment beweisen.

Bringt man nämlich eine unbelegte Glasafel, so zwischen die Platten eines Luftcondensators, daß die letzteren von der ersteren immer noch durch genügend große, mit Luft erfüllte Zwischenräume getrennt sind, um (nach besonderen Versuchen) ein Uebergehen der Elektricität zwischen den Platten unmöglich zu machen, so findet doch einerseits nach dem Laden des Luftcondensators ein stärkeres Sinken dieser Ladung statt, als durch den bloßen Elektricitätsverlust an die Luft erklärbar wäre, und andererseits nach vorgenommener Entladung auch ein Wiederauftreten von Rückständen.

Ein anderer wesentlicher Unterschied zwischen Isolatoren und Leitern giebt sich auch darin kund, daß die Temperatur ihren Einfluß auf das elektrische Verhalten im entgegengesetzten Sinne ausübt.

Während eine Temperatur-Erhöhung die Leitungsfähigkeit der festen Leiter vermindert, treten im Isolator die Bewegungen bei höherer Temperatur rascher ein, als bei niedriger, und zwar machen schon sehr kleine Temperatur-

schwankungen ihren Einfluß auf die Rückstandsbildung im höchsten Grade fühlbar.

Es war schon früher beobachtet worden, daß Glas bereits in einer Temperatur von 200 Graden fähig wird, den galvanischen Strom zu leiten, daß aber Temperaturveränderungen wie sie in unseren Zimmern vorkommen, auf die Rückstandsbildung von wesentlichem Einflusse seyn könnten, hat meines Wissens Niemand vermuthet.

Die Versuche ergaben, daß bei den Glastafeln eine Erhöhung in der Temperatur von 10° C. auf 20° C. die Zeit, welche zu gleicher Verminderung der Ladung nöthig war auf die Hälfte, bei Wachs sogar auf ein Zehntel herabdrückte.

Was die Ausführung der Versuche betrifft, so wurden sie sämmtlich im physikalischen Institut der Münchener Universität gemacht, und zwar mit Hilfe eines Kohlrausch'schen Sinus-Elektrometers. Da jedoch die Aenderungen häufig so rasch eintraten, daß eine Beobachtung nach der von Kohlrausch angegebenen Methode unmöglich gewesen wäre¹⁾, so mußte eine kleine, aber, wie dem Verf. scheint, nicht unwesentliche Modification am Instrumente angebracht werden:

Diese bestand in einer gemalten Papierscate, welche im Innern des Gehäuses aufgehängt wurde.

Indem die Werthe der Sestentheile durch empirische Vergleichung auf die directen Angaben des Elektrometers zurückgeführt wurden, war man im Stande, zu beobachten, ohne das Instrument zu berühren.

Diese Einrichtung erlaubte unter günstigen Verhältnissen zehn Beobachtungen in einer Minute zu machen, während nach der ursprünglichen Methode in aller günstigsten Falle höchstens vier Einstellungen in derselben Zeit möglich waren.

Kurz zusammengefaßt ergaben sich nun die folgenden Resultate:

- 1) Bei der dünnsten Tafel (1 mm,6 dick) sank die Ladung während 20 Sekunden von 100 auf 15, während 60 his auf 0,92.

20) Auch im Innern der hohleren Röhren elektrische Bewegungen eintreten.

21) Diese werden nur theilweise durch die Fernwirkung der elektrischen auf Leitern angeschaueten Elektricitätsmengen hervorgerufen.

22) Diese Bewegungen treten bei höheren Temperaturvierteltheilen als bei niedrigeren auf.

23) Diese Bewegungen treten bei höheren Temperaturvierteltheilen als bei niedrigeren auf.

24) Diese Bewegungen treten bei höheren Temperaturvierteltheilen als bei niedrigeren auf.

25) Diese Bewegungen treten bei höheren Temperaturvierteltheilen als bei niedrigeren auf.

26) Diese Bewegungen treten bei höheren Temperaturvierteltheilen als bei niedrigeren auf.

27) Diese Bewegungen treten bei höheren Temperaturvierteltheilen als bei niedrigeren auf.

Das Resultat scheint mir, daß die Glaswand der Leydener Flasche durch deren Ladung und Entladung erwärmt werden mußte, so habe ich mit einem Apparat (zusammenge-
 stellt durch welchen sich schon sehr geringe Erwärmungen mit Sicherheit einwirken lassen) Das Resultat der durch
 angestellten Versuche entspricht den Erwartungen vollständig.
 Die Construction des Apparats ist folgende: Ich habe
 feinen Eisendraht und gleichen starken Neusilberdraht mit
 Seide bepackt. Diese Drähte wurden darauf in kleine
 Stücke geschnitten, und je ein Neusilber-
 draht mit einem Eisendraht zusammengeleitet. Die so ver-
 bundenen Drähte wurden in einem mit Kitt aus Kohlen-
 säure und Schellack überzogenen Glasplättchen gelegt, so daß
 die Endstellen von 180 Drähten ohne sich zu berühren
 einen Raum von 14 Decimet. einnahmen. Durch
 Niederdrücken mit einem erwärmten Eisen wurden die
 Enden der Drähte eingeschmolzen und so auf der Platte be-
 festigt. Nachdem aus den beabachteten freien Enden der
 Drähte mit einander verlöthet waren und dadurch eine Ther-

thermostule von 180 Elementen gebildet war, ward eine ebenfalls mit Kitt überzogene zweite Glasplatte mit der Kittfläche auf die erste gelegt. Durch vorsichtige Erwärmung wurde der Kitt zwischen den Glasplatten darauf erweicht, und ein Theil desselben, mit den vereinigten Luftblasen welche er umschloß, herausgedrückt. Die Thermostule befand sich mithin jetzt in einer luftfreien Kittschicht, genau in der Mitte einer etwa 5^m dicken Glasplatte.

Der sämmtliche innere Löthstellen bedeckende mittlere Theil der Glasplatte wurde nun auf beiden Seiten mit etwa 1 □ Dec. großen Stanniolbelegen versehen, welche mit isolirten Zuleitungsdrähten verbunden wurden. Ebenso wurden die beiden frei gebliebenen Ränder der Thermostule mit Kupferdrähten verbunden, welche zu einem empfindlichen Spiegelgalvanometer führten. Der ganze Apparat, mit Inbegriff der äußeren Löthstellen, wurde sorgfältig vor jeder Temperaturveränderung geschützt.

Es gehörte dann schon eine kurze Folge von Ladungen und Entladungen mittelst eines Volta-Inductors von etwa 1 Zoll Schlagweite um die Scale eines Galvanometers aus dem Gesichtsfeld zu treiben, und zwar im Sinne der Erwärmung der zwischen den Belegungen liegenden Löthstellen. Diese Ablenkung geht nach Aufhören der Ladungsfolge sehr langsam auf Null zurück. Erst nach mehreren Stunden verschwindet sie gänzlich. Sie ist unabhängig von der Richtung des Ladungsstroms und anscheinend proportional der Zahl von Ladungen und der Schlagweite bis zu welcher die Ladungstafel geladen wurde. Die Bewegung der Scale beginnt sofort nach der ersten Ladung und schreitet dann regelmäßig vor. Berührt man dagegen eine der Belegungen mit dem Finger, so bleibt die Scale noch 2 bis 3 Sekunden unbewegt stehen, bevor mit dieser Bewegung beginnt, die gewöhnlich erst außerhalb des Gesichtsfeldes endet.

Die beobachtete Erwärmung kann weder durch Leitfähigkeit noch durch andere Eigenschaften der Belegungen, sondern durch

Einbringen der Elektricität in die den Belegungen zunächst liegende Glasmassentritt ein. Der erste Einwurf wird durch die Anordnung des Apparats und die beschriebenen Versuche direct beseitigt. Die Erwärmung durch Compression wird durch die auf sie folgende gleich starke Abkühlung durch Expansion ausgeglichen werden, könnte also keine dauernde Erwärmung hervorbringen, selbst wenn die auferlegte geringe Anziehung dazu ausreichte. Eben so wenig kann die Ursache der Erwärmung im Eindringen der Elektricität in die den Belegungen zunächst liegende Glasmass gesucht werden, da die Ablenkung kaum nicht sofort, sondern erst nach Verlaufs einiger Sekunden beginnt. Mannte: Nimmt man dagegen mit Herrn Baraday an, daß die Ladung und Entladung auf einem molecularen Bewegungsvorgang in dem die Belegungen trennenden Isolator beruht, so hat die Thatsache der Erwärmung dieses Isolators nichts Auffällendes.

XII. Die chemische Zusammensetzung der Feldspathe, von G. Tschermak.

(Auszug aus d. Sitzungsber. d. Wiener Akad.; vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Zu Werner's Zeit, waren aus der Gruppe der Feldspathe bloß der gemeine Feldspath (Orthoklas) und der farben spielende Labrador bekannt. Später fügte G. Rose den Albit und den Anorthit als neue, vollständig charakteristische Arten hinzu, Breithaupt den Oligoklas. Durch diesen und andere Mineralogen wurden ferner eine große Reihe von Mineralen als neue Arten dieser Gruppe aufgestellt. Mit dem Fortschreiten der Kenntnisse schwanden jedoch die früher geltend gemachten Unterschiede der einzelnen Arten immer mehr, man traf alleenthalben Uebergänge. Heute führt man gewöhnlich als Abtheilungen an:

den monoklinischen Orthoklas, ferner den Albit, Obgibt, Labrador, Anorthit, welche letzteren eine triklinische Form zeigen. Es sind dies jedoch keine von einander abgegrenzten Arten, obgleich man jeder Abtheilung gerne eine bestimmte chemische Zusammensetzung zuschreiben möchte. Jetzt, nachdem Santhofius v. Walferthausen, Schottner, Rammeisberg u. A. auf verschiedene Weise den Zusammenhang zwischen den bekannten Feldspäthen zu ermitteln versuchten, neigen sich die Ansichten der Mineralogen immer mehr dahin, alle Feldspäthe, außer Adular, Albit und Anorthit, als Gemische, isomorpher Substanzen, zu betrachten. Bei den monoklinen Feldspäthen ist diese Ansicht allgemein, bezüglich der triklinen haben schon Müntz und Delesse die Meinung ausgesprochen, daß Hincshel als Gemische von Kali- und Natrium-Feldspath anzusehen seien. Ich habe es versucht, bezüglich dieser Ansichten den strengen Nachweis zu führen. Im Folgenden gebe ich die wichtigsten Resultate.

Es sind zwei Reihen von Feldspäthen zu erkennen: die monoklinische Adular-Albit-Reihe und die triklinische Albit-Anorthit-Reihe.

Die Glieder der ersten Reihe bezeichnen das reine Kali-Feldspath, (Adular) und den Gemengen von Adular $\text{KO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ oder $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 = \text{Or}$ und von Albit

$\text{NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ oder $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 = \text{Ab}$. Diese bestätigen die Resultate der chemischen Analyse, sowie die mineralogischen Beobachtungen an Perthit, und an vielen anderen Feldspäthen, die als lamellare Verwachsungen von Adular und Albit erscheinen. (Beobachtungen von Gerhard, Bissithaupt u. A.) endlich bestätigen es die Zahlen für das Eigengewicht, welche mit den berechneten übereinstimmen, sofern die Rechnung das Ergebniss der Analyse zu Grunde legt und von den Normalzahlen ausgeht, welche ich bestimmte für Adular $s = 2,556$ für Albit $s = 2,624$.

Abweichung des monoklinen Adular und der triklinen Albit Formen entstehen, welche zwischen den beiden Grundformen liegen; dennoch sind die an den Gemengen vorkommenden Abweichungen von der Adular-Form fast immer unbedeutend. Dies erkläre ich damit, daß der Albit, wie bekannt, nicht in seiner einfachen Form mit dem Adular verwächst, sondern seine Lamellen aus einer Anzahl zwillingsartig zusammengefügt Individuen bestehen. Denkt man sich nun die Umrisse eines solchen aus gleich dicken Zwillingen bestehenden Individuen, so erhält man eine monokline Form die nur wenig von der Adular-Form abweicht. Daher mag es kommen, daß die Form der Gemenge monoklinisch bleibt. Die beiden Feldspäthe verwachsen nicht, immer nach einfachen Mengenverhältnissen, obgleich einfache Äquivalent-Verhältnisse oft vorkommen. Ich bezeichne die Zusammensetzung kurz mit: Or, Ab . So z. B. ist der Anorthit Or_2, Ab_1 , der Perthit Or, Ab_1 .

Die zweite Reihe der Feldspäthe besteht aus den Endgliedern Albit und Anorthit und aus den Gemengen von Albit

$NaO, Al_2O_3, 6SiO_2$ oder $Na_2O, Al_2O_3, 6SiO_2 = Ab$
und von Anorthit

$CaO, Al_2O_3, 2SiO_2$ oder $2CaO, 2Al_2O_3, 4SiO_2 = An$

Auch dies wird durch die chemischen Untersuchungen vollkommen bestätigt, wie ich in der Original-Abhandlung nachweise, und die Uebereinstimmung des berechneten und des beobachteten Eigengewichtes ist ein weiterer Beleg. Ich habe dabei als Normalzahl für Anorthit $s = 2,763$ benutzt.

Man hat es hier mit Gemischen isomorpher Substanzen zu thun, denn die Formen des Anorthit und Albit weichen von einander nicht mehr ab als es sonst bei isomorphen Substanzen der Fall ist; eine Durchwachsung wie bei der vorigen Reihe ist daher nicht zu erwarten. Ich bezeichne die Zusammensetzung wieder kurz mit Ab, An . Wenn man die oben links gesetzten älteren Formeln

Betrachtet so erkennt man, dass alle Glieder dieser Reihe unter der allgemeinen Formel:



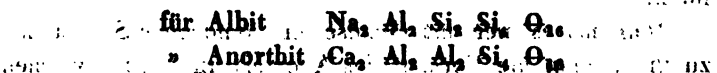
begriffen seyen, wofür r zwischen den Gränzen 2 und 6 liegt, und unter RO sowohl NaO als CaO verstanden wird, also $\text{RO} = a\text{NaO} + b\text{CaO}$ und $a + b = 1$. Danach ergibt sich die Bedingung $a : b = r - 2 : 6 - r$.

Ich führe im Folgenden einige Glieder der Reihe nach den älteren Formeln auf und setze meine kurze Bezeichnung hinzu

Ab	NaO	Al ₂ O ₃	6 SiO ₂	1:0	Albit
Ab, An ₁	RO	Al ₂ O ₃	5 SiO ₂	3:1	
Ab ₁₀ An ₂	RO	Al ₂ O ₃	4,5 SiO ₂	5:3	Oligoklas-Formel
Ab ₂ An ₁	RO	Al ₂ O ₃	4 SiO ₂	1:1	Andesin-Formel
Ab, An	RO	Al ₂ O ₃	3,5 SiO ₂	3:5	
Ab ₂ An ₂	RO	Al ₂ O ₃	3 SiO ₂	1:3	Labrador-Formel
Ab ₁ An ₇	RO	Al ₂ O ₃	2,5 SiO ₂	1:7	
An	CaO	Al ₂ O ₃	2 SiO ₂	0:1	Anorthit-Formel

In der Natur kommen, wie gesagt nicht nur diese, sondern noch viele andere Zwischenglieder vor. Man sieht, dass bisher die Formeln einiger derselben herausgegriffen und als Norm hingestellt wurden. Die untere $a : b$ stehende Bedingung hatte man dabei nicht gekannt.

Die Isomorphie des Albit und Anorthit, zweier scheinbar so verschieden zusammengesetzten Substanzen, wird begreiflich, wenn man deren atomistische Zusammensetzung betrachtet. Man hat nämlich



woraus die Ähnlichkeit der Zusammensetzung hervorgeht. Die Menge des Siliciums im Albit zerfällt bei diesem Vergleiche in die zwei Gruppen Si₂ und Si₂. Dasselbe zeigt sich bei der Betrachtung mehrerer chemischer Erscheinungen so z. B. wenn aus dem Leucit, aus dem Laumontit, Albit hervorgeht

Leucit $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$

Albit $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2SiO_2$

Laumontit $4H_2O \cdot CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$

Albit $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2SiO_2$

Wenn man die zuvor besprochenen Sätze bezüglich der Mischung der Feldspäthe gelten läßt, so wird man auch wünschen, die jetzige Systematik dieser Gruppe geändert zu sehen. Nach meiner Meinung sollte man dabei zugleich genetischen Verhältnissen einige Rechnung tragen, und auch die glasigen Feldspäthe der Albit-Anorthit-Reihe von ihren gleich zusammengesetzten Verwandten trennen, wie man es mit dem Sanidin dem Orthoklas gegenüber that. Ich habe vorgeschlagen, alle glasigen Feldspäthe der zweiten Reihe Mikrotin, die nicht glasigen (derben) derselben Reihe Plagioklas zu nennen, wonach folgendes Schema entsteht:

Adular	Orthoklas	Albit	Plagioklas	Anorthit
Sanidin			Mikrotin	

Eine speciellere Eintheilung habe ich in der Abhandlung durchgeführt. Wegen der Aehnlichkeit der Form und Zusammensetzung zähle ich zur Feldspathgruppe noch den Halophan und den Danburit. Der erstere ist ein Gemisch von Barytfeldspath und Adular, der letztere zeigt ebenfalls Feldspathform und repräsentirt einen Borfeldspath indem die Thonerde Al_2O_3 des Anorthit durch Borsture B_2O_3 ersetzt erscheint.

Man kennt demnach gegenwärtig fünf verschiedene Feldspath-Substanzen, deren Formel ich hier gebe, links deren Namen, rechts die Namen der entsprechenden Gemische anführend:

Anorthit	Ca, Al, Al, Si, O_{10}	Oligoklas, Andesin Labrador etc. Orthoklas, Sanidin etc. Hyalophan
Albit	Na, Al, Si, Si, O_{10}	
Adular	K, Al, Si, Si, O_{10}	
Barytfeldspath	Ba, Al, Al, Si, O_{10}	
Danburit	Ca, B, B, Si, O_7	

XIII. Analyse eines Kupferwismutherzes aus Wittichen im badischen Schwarzwalde; von Dr. Hiltger,

Assistent am chem. Laboratorium zu Würzburg.

Da über die Constitution dieses selten vorkommenden Minerals durch die bis jetzt bekannten Analysen, keine vollständig sicheren Aufschlüsse gegeben wurden, so übernahm ich mit um so größerem Interesse, die Ausführung der Analyse, wozu mir ebenfalls Hr. Prof. Sandberger, das Material lieferte. Die ältesten Analysen dieses Minerals, sind von Klaproth ausgeführt, scheinen weniger von Wichtigkeit zu sein, da sich ein Verlust von 6,52 Proc. bei der Analyse ergeben hat. Trotzdem findet sich im Handwörterbuche von Braumelschlag (I, 378) von v. Kobell, vermuthungsweise die Formel $3\text{Cu}, \text{Bi}$ angenommen. Es folgen auch die Analysen von Schneider¹⁾, der ein Kupferwismuth-erz von der Grube Neuglück zu Wittichen untersuchte und besonders auf einen bedeutenden Gehalt von mechanisch beigemengtem Wismuth aufmerksam macht. Die Menge von metallischem Wismuth, die zu 15,95 Proc. angegeben wird, veranlaßt Schneider folgende Formel aufzustellen:



Seine Analysen ergaben in Procenten: (das Mittel aus drei Analysen, wovon aber bei der dritten nur das Wismuth bestimmt wurde)

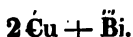
16,91 S., 51,54 Bi, 32,25 Cu;
außerdem sind noch geringe Mengen von Fe und Co (1 Proc.) angegeben.

Die Untersuchungen von Schenk²⁾, die zu gleicher

1) Diese Annalen Bd. 93, S. 303.

2) Liebigs Annalen Bd. 91, S. 232.

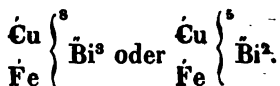
Zeit mit denen von Schneider ausgeführt zu seyn scheinen, führen zu der Formel:



Noch zu erwähnen ist die Arbeit von Tobler¹⁾, der folgende procentische Zusammensetzung angiebt:

S 17,26, Bi 49,65, Cu 31,56, Fe 2,91;

metallisches Wismuth fand sich nicht beigemengt. Nach diesen Resultaten nimmt derselbe an, daß das Wismuth als Bisulphuret Bi, zugegen sey und stellt die Formeln auf:



Eine andere Formel ist außerdem noch angegeben, wenn man das Eisen in Form von Kupferkies beigemengt betrachtet, wonach die Zusammensetzung $\text{Cu}^3 \text{Bi}$ anzunehmen wäre.

Mein Augenmerk war nun zunächst dahin gerichtet, zu constatiren, ob wirklich metallisches Wismuth dem Erze beigemengt sey, weshalb ich auch das Mineral zu wiederholten Malen mit Salzsäure behandelte. Die in der Schneider'schen Arbeit angegebenen Vorsichtsmaßregeln (Erhitzen unter möglichstem Luftabschlusse zur Verhütung eines Ueberganges des $\text{Cu}^2 \text{Cl}$ in Cu Cl , welches letztere metallisches Wismuth auflösen soll) wurden beim Auflösen angewendet, aber nicht die geringste Spur von Wismuth nachgewiesen. Der in Salzsäure unlösliche Rückstand bestand nur aus Gangart »schwefelsaurem Baryt«, wovon das Erz unmöglich ganz befreit werden konnte.

Nachdem hierdurch die Abwesenheit des metallischen Wismuth erwiesen war, zog ich vor, zur quantitativen Analyse die Lösung des Erzes in Salpetersäure anzuwenden, in welcher dann das Wismuth als $(2\text{Bi O}_3, \text{Bi Cl}_3)$, das Kupfer als Rhodanür gefällt wurde. Die Bestimmung des Schwefels geschah theils in saurer Lösung, theils in dem unlöslichen Rückstande nach vorhergegangener Oxydation mit-

1) Liebig's Annalen Bd. 95, S. 307.

telet Salzsäure und chloresaurem Kali als Schwefelsäure. Kobalt war nicht nachzuweisen, dagegen Eisen und geringe Mengen von Blei und Silber.

Der Fundort des Minerals war die Grube Daniel in Gallenbach.

Die Resultate der Analyse sind:

Spec. Gew. 4,3.

Berechnete Schwefelmenge.

S = 18,21	—
Cu = 36,91	9,31
Fe = 3,13	1,79
Bi = 41,53	9,58
<u>99,78</u>	<u>20,68</u>

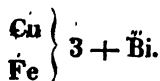
Menge des Cu 46,22

Fe auf Cu berechnet 8,88 Bi = 51,11
55,10

Daraus 51,11 : 55,10 = 1 : 3,48.

3200 (Atomgew. des Bi) 993,2

Schon das geringere specifische Gewicht, das von Hausmann zu 5 angegeben ist, scheint für die Abwesenheit von mechanisch beigemengtem Wismuth zu sprechen. Ich glaube demnach, nach den vorliegenden Resultaten aussprechen zu dürfen, daß die schon längst vermuthete Formel $3\text{Cu} + \text{Bi}$ die richtige ist. Meine Ansicht ist jedoch, das Eisen als isomorphes Schwefelmetall nicht aus der Formel auszuschließen; sondern die Zusammensetzung des Kupferwismutherzes in nachstehender Weise anzunehmen:



XIV. Ueber das jodsaure Natron-Jodnatrium; von C. Rammelsberg.

Durch Auflösen von Jod in Natronlauge entsteht ein von Mitscherlich ¹⁾ entdecktes Doppelsalz, welches in sechsgliedrigen, optisch einaxigen Krystallen anschießt, von Säuren unter Freiwerden von Jod zersetzt wird, und durch Behandlung mit starkem Alkohol in seine beiden Bestandtheile zerfällt. Mitscherlich hatte auf diese Weise 37,1 Proc. jodsaures Natron und 29,2 Jodnatrium erhalten, und demnach die Formel



angenommen, welche verlangt:

Jod	48,10
Natrium	8,71 = Na 11,55
Sauerstoff	9,09
Wasser	34,10
	<hr/> 100.

oder

Jodsaures Natron	37,5
Jodnatrium	28,4
Wasser	34,1
	<hr/> 100.

Penny ²⁾ beschrieb später dasselbe Doppelsalz, erhielt es auch aus den beiden einfachen Salzen, gab ihm aber die Formel



Endlich hat Marignac ³⁾, der die Form der Krystalle ausführlich beschrieb (Mitscherlich hat nur ein sechseitiges Prisma mit Endfläche beobachtet), aus seinen Ana-

1) Diese Ann. Bd. 11, S. 162 und Bd. 17, S. 481.

2) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 37, S. 202.

3) Ann. d. Mines, V. Sér. XII. Auch *Archives des sc. phys. et nat.* T. XXXVI.

lysen dieselbe Formel, jedoch mit 40 At. Wasser, abgeleitet,



Die Berechnung beider Formeln ergibt:

Penny.			
Jod	53,45		oder
Natrium	9,68 = Na	13,05	Jods. Natron 33,33
Sauerstoff	8,08		Jodnatrium 37,88
Wasser	28,79		Wasser 28,79
	<u>100.</u>		<u>100.</u>

Marignac.			
Jod	52,65		oder
Natrium	9,54 = Na	12,86	Jods. Natron 32,84
Sauerstoff	7,96		Jodnatrium 37,31
Wasser	29,85		Wasser 29,85
	<u>100.</u>		<u>100.</u>

Ich habe mit ziemlich groſsen Krystallen folgende Resultate erhalten:

Die mit schweflige Säure reducirte Auflösung lieferte Jodsilber, entsprechend 52,58 Proc. Jod.

Durch Behandlung mit Schwefelsäure fanden sich 13,12 Proc. Natron.

Durch starken Alkohol wurden 33,46 Proc. jodsaures Natron ausgeschieden.

Da die Jodbestimmung bei weitem genauer ist, als das Resultat der beiden letzten Versuche, so gebe ich Maignac's Formel den Vorzug.

Wenn das Salz beim Erhitzen sich in Jodnatrium verwandelte, so müſte es 62,19 Proc. liefern (nach Penny 63,3, nach Mitscherlich 56,8 Proc.). Ich erhielt 62,14 Proc., jedoch hatte sich auch etwas Jod entwickelt.

Ist nun das von Mitscherlich beschriebene Salz ein anderes? Wie ich glaube, muſs man die Frage vorläufig bejahen.

Maignac beobachtete an den Krystallen nicht weniger als zehn verschiedene Rhomboëder, deren Flächen frei-

lich meist sehr schmal sind, und betrachtet als Hauptrhomboëder eines derselben mit einem Endkantenwinkel von $76^{\circ} 44'$, von welchem das erste stumpfere und erste schärfere mit den betreffenden Winkeln $= 101^{\circ} 38'$ und $65^{\circ} 4'$ vorkommen. Vorherrschend aber ist das $\frac{4}{3}$ fach stumpfere und dessen Gegenrhomboëder, die auch an den von mir untersuchten Krystallen fast allein mit Genauigkeit messbar waren, Der Endkantenwinkel dieser beiden Rhomboëder ist $= 83^{\circ} 18'$, und an dem Dihexaëder oder Dirhomboëder, welches sie bilden, ist

	Berechnet.	Beobachtet (Rg.)
der Endkantenw.	128° 54'	129° 12'
der Seitenkantenw.	119 16	
der Neig. d. Fl. : Endfl.	120 22	120 20
» » : Prisma	149 38	149 48.

Vielleicht ist es besser, diese beiden Rhomboëder, für welche $a:c=1:1,4779$ ist, als Haupt- und Gegenrhomboëder anzusehen.

Von ähnlichen Verbindungen sind bekannt:

$(\text{Na } \ddot{\text{J}} + 2 \text{Na Br}) + 18 \text{ aq.}$ Sechsgliedrig (?) Rg.

$(2 \text{Na } \ddot{\text{J}} + 3 \text{Na Cl}) + 18 \text{ aq.}$ Eingliedrig (Rg.)

$(2 \text{Na } \ddot{\text{Br}} + \text{Na Br}) + 4 \text{ aq.}$ Zwei- u. ingl. Marign.¹⁾

XV. *Notiz über die Krystallform des essigsauren Uranoxyd-Natrons;* *von Carl, Ritter von Hauer.*

Beim Aufziehen mehrerer Krystalle dieser Doppelverbindung $[\text{Na O} \cdot \bar{\text{A}} = 2 (\text{Ur}_2 \text{O}_3 \cdot \bar{\text{A}})]$ bemerkte ich, daß einige Individuen auffallend in ihrem Wachstume zurückblieben.

1) Nach Fritzsche $= 3 \text{Na } \ddot{\text{Br}} + 2 \text{Na Br}) + 6 \text{ aq.}$

Diese Krystalle hatten die GröÙe eines Hirsekornes. Bei näherer Betrachtung ergab sich daÙ die Krystalle Granatoëder von ausgezeichneter RegelmäÙigkeit waren. Bekanntlich ist das essigsäure Uranoxyd-Natron bisher nur in der Form des Tetraëders mit dreiflächiger Zuspitzung der Ecken durch das Granatoëder beobachtet worden. In krystallographischer Beziehung ist diese Erscheinung in so fern von Interesse als unter der groÙen Anzahl krystallisirter Laboratoriumspräparate keins bekannt ist, welches in der Granatform auftritt.

Fig. 1

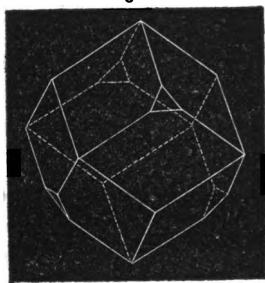
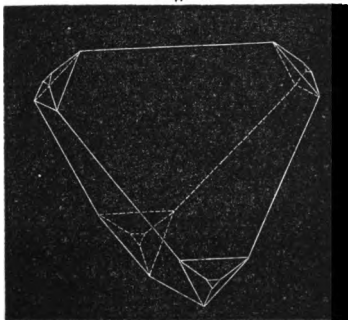


Fig. 2



Als ich einige dieser Granatoëder noch weiter fortwachsen lieÙ, traten an denselben später die Tetraëderflächen auf, wie Fig. 1 zeigt, welche das Ausdehnungs-VerhältniÙ der Flächen ersichtlich macht.

Durch zweijähriges Aufziehen der Tetraëder erhielt ich Individuen von der GröÙe einer HaselnuÙ von besonderer Seltenheit und RegelmäÙigkeit. Als die Krystalle die für diese wenig lösliche Verbindung ansehnliche GröÙe erreicht hatten, traten an denselben die Flächen des Gegen-tetraëders auf. Das AusdehnungsverhältniÙ der Flächen ist in Fig. 2 ersichtlich gemacht.

XVI. Ueber eine neue Einrichtung der Quecksilber-Luftpumpe; von J. C. Poggendorff.

(Aus d. Monatsberichten d. Berl. Akad. 1863 April.)

Die in neuerer Zeit wieder in Aufnahme gekommene Quecksilber-Luftpumpe ist im Grunde genommen ein sehr altes Instrument. Denn wenige Jahre, nachdem Otto v. Guericke die Kolben-Luftpumpe erfunden hatte, und wahrscheinlich unbekannt mit seiner Erfindung, benutzten die Mitglieder der *Accademia del Cimento* zu allen ihren Versuchen über das Verhalten der Körper im Vacuo ein gerades, oben gefäßförmig erweitertes Barometerrohr von größerer als zur Messung des Luftdrucks erforderlicher Länge, welches sie mit Quecksilber füllten und dann umgekehrt in dasselbe Metall eintauchten:

Die vielfachen Mängel dieser rohen Vorrichtung, welche wohl als eine Quecksilberpumpe abgesehen werden kann, und besonders die außerordentlichen Fortschritte, welche die Construction der Kolben-Luftpumpe seit den Zeiten Boyle's und Papin's im ganzen Laufe des 18. und 19. Jahrhunderts gemacht hat, sind Veranlassung gewesen, daß die Idee der Florentiner Akademiker ganz in Vergessenheit gerathen ist.

Erst länger denn 50 Jahre hernach, sehen wir den Vorschlag gemacht, den Gebrauch des Quecksilbers zum Exhüiren durch Construction eines besonderen Instruments wieder zur Geltung zu bringen. Derselbe ging aus von dem bekannten Theosophen Emmanuel Svedenborg, der ihn in seinem 1722 zu Leipzig erschienenen Werke: *Miscellanea observata circa res naturales et praesertim circa mineralia, ignem et montium strata* beschrieben hat.

Svedenborg's Pumpe bestand im Wesentlichen aus einem Tischchen mit drei hohen Beinen, welches die zu evacuirende Glasglocke trug, und unterhalb mit einem eisernen Gefäß verbunden war, von dem ein Eisenrohr senk-

recht herabging, welches unten durch einen Lederschlauch mit einem zweiten Eisenrohr zusammenhing. Durch Aufrichten und Niederlegen dieses beweglichen Rohrs, wurde das Quecksilber, welches beide Rohre füllte, zum Steigen und Sinken gebracht, und somit das eiserne Gefäß, welches mit den nöthigen Ventilen versehen war, abwechselnd mit dem flüssigen Metall gefüllt und wiederum geleert.

Dieses Princip ist dasselbe, zu welchem Joseph Baader bei seiner zweiten Quecksilberpumpe überging, nur in verbesserter Gestalt, indem er den Lederschlauch Svedenborg's, von dessen Idee er übrigens nichts gewußt zu haben scheint¹⁾, durch ein Metallgelenk ersetzte. Bei seiner ersten Pumpe, die er 1784 in Hübner's physikal. Taschenbuch beschrieben hatte, waren die beiden Rohre, das herabgehende und das in die Höhe führende, unverrückbar mit einander verbunden, und das Senken des Quecksilbers in dem Verdünnungs-Gefäß geschah, indem die nöthige Menge des flüssigen Metalls durch einen Hahn in der unteren Biegung der Röhre abgelassen wurde. Einschütten des ausgeflossenen Quecksilbers in die aufrechte Röhre, nachdem der Hahn verschlossen und das Verdünnungs-Gefäß zur Fortschaffung der eingesogenen Luft geöffnet worden, stellte den anfänglichen Zustand wieder her.

Diese Pumpen, die übrigens, wie es scheint, nie von ihren Urhebern zur Ausführung gebracht worden sind, haben aber nicht den Beifall der Physiker erlangt; und daselbe gilt von all den Pumpen, welche successive von Hindenburg, Michel, Cazalet, Kemp, Edelcrantz, Patten, Oechsle, Romershausen, Uthe, Mile, Kravogl u. A. theils vorgeschlagen, theils wirklich hergestellt worden sind, und in welchen meistens das Quecksilber durch einen Kolben bewegt wird.

Erst in neuester Zeit ist die Quecksilber-Luftpumpe zu

1) Es gebührt wohl Gren das Verdienst, zuerst an Svedenborg erinnert zu haben, indem er aus dessen Werk die bezügliche Stelle nebst Abbildung in sein Journ. d. Physik von 1791 (Bd. IV. S. 407) eintrückte.

Ansehen gelangt, seitdem der Glaskünstler Geifler in Bonn sie zur Anfertigung der nach ihm benannten evacuirten Röhren benutzt, und dabei ein Vacuum von einer Vollkommenheit dargestellt hat, wie es mit der besten Kolben-Luftpumpe nicht zu erhalten ist.

Die Geifler'sche Pumpe, welche dem größeren Publicum zuerst durch eine hier i. J. 1858 erschienene Schrift des Dr. Theodor Meyer über das geschichtete elektrische Licht bekannt geworden ist, weicht in ihrem Principe nicht von der Svedenborg'schen ab, hat aber eine ihrem speciellen Zweck mehr entsprechende Gestalt. Sie ist bis auf das Gummirohr, welches den ehemaligen Lederschlauch ersetzt, ganz aus Glas verfertigt, und, was die Theile betrifft, welche die zu evacuierende Röhre mit dem Pumpenkörper verbinden, das Hineinbringen verschiedener Gase und das Austrocknen derselben gestatten, mit großer Sauberkeit und Geschicklichkeit ausgeführt. Dagegen ist die Vorrichtung zum Aufrichten und Niederlegen des beweglichen Rohrs nur roh, und leicht Beschädigungen ausgesetzt. Anfangs wurden diese Operationen ganz aus freier Hand vollzogen, späterhin, da sich dieses bei einem Glasrohr und einer Quecksilbermasse von 30 bis 40 Pfund als zu beschwerlich und gefährlich erwies, mit Hülfe einer Winde.

In neuester Zeit hat der hiesige Geifler Pumpen kleinerer Art construiert, welche nur 15 Pfund Quecksilber fassen. Bei diesen sind die beiden Glasrohre ersetzt durch einen langen und starken Gummischlauch, welcher das ovale Verdünnungsgefäß mit einer Glaskugel von gleicher Capacität verbindet. Und die Operation des Evacuirens geschieht dadurch, daß die Glaskugel aus freier Hand abwechselnd auf den Fußboden und auf ein neben der Pumpe befindliches Gestell gelegt wird. Diese Vorrichtung ist einfach, muß aber das Bedenken erregen, ob der Gummischlauch lange vorhalten werde; außerdem erfordert die Operation einen nicht unbedeutenden Kraftaufwand und setzt den Apparat leicht Gefahren aus.

Die Quecksilberpumpe, sie mag nun auf die eine oder

andere Weise construirt worden seyn, ist wegen Langsamkeit der Operation, nur geeignet, Gefäße von kleiner Räumlichkeit zu evacuiren, und wenn sie auch hierbei einen höheren Grad von Verdünnung gestattet, wird sie doch nie die gewöhnliche Luftpumpe aus den Cabinetten verdrängen.

Diese Ueberzeugung und der Umstand, daß denn doch heut zu Tage jeder Physiker ohnedieß schon mit einer Luftpumpe versehen ist, brachte mich im Laufe des vorigen Sommers auf den Gedanken, sie wo möglich so abzuändern, daß sie ein Anhängsel zu der gewöhnlichen Luftpumpe bilde, welches sich, je nach Bedürfnis, mit derselben verknüpfen und wieder von ihr abtrennen lasse.

Die Ausführung dieses Gedankens hat keine praktische Schwierigkeit, vertheuert das Instrument nicht, erlaubt es in jeder beliebigen GröÙe darzustellen, und macht die Operation des Evacuirens zu einer bequemen und völlig gefahrlosen.

Um aus Erfahrung über die Sache sprechen zu können, habe ich zur Probe ein solches Hilfs-Instrument anfertigen lassen, und wie vorausszusehen hat es meinen Erwartungen vollkommen entsprochen. Ich glaube daher, daß die Veröffentlichung desselben den Physikern von einigem Nutzen seyn kann.

Der Körper des Instruments (Taf. I, Fig. 2) besteht wesentlich aus zwei Theilen, nämlich: 1) einer Glasflasche *A* (bei meinem Exemplar etwa 12" hoch und 6" im Durchmesser) mit etwas weitem Hals und einer seitlichen Tubulatur, und 2) einem eiförmigen Glasgefäß *B* mit kurzem Hals nach oben, und einem langen nach unten, mit welchem es in den Hals der Flasche eingeschliffen ist und fast bis zum Boden derselben hinabreicht.

Auf die Tubulatur der Flasche *A* ist eine Kappe von Eisen gekittet, versehen mit einem Canal, der nach außen in einer Dille *i* mündet, und durch einen Hahn *f* luftdicht verschlossen werden kann.

Ebenso ist der obere Hals des eiförmigen Gefäßes *B*

mit einer eisernen Kappe versehen, deren Canal durch den Hahn *g* verschließbar ist und zunächst zu dem Fläschchen *d* führt, welches auf seinem Halse die aufgekittete eiserne Dille *k* trägt.

Der letztgenannte Hahn *g* hat einen dreifachen Zweck und eine demgemäße Bohrung.

Stellt sein Griff senkrecht mit dem Ende *p* nach unten, so setzt er das Gefäß *B* mit dem Fläschchen *a*; und, sobald die Dille *k* offen ist, mit der äußeren Luft in Verbindung.

Neigt er unter 45° , so schließt er das Gefäß vollständig ab, und liegt er horizontal, mit dem Ende *p* nach links, so errichtet er eine Communication zwischen diesem Gefäß und einem Seitenkanal *l*, an welchen die zu evacuierenden Gegenstände luftdicht angesetzt worden ¹⁾.

Die Verknüpfung dieses Apparats mit der Luftpumpe geschieht durch einen Gummischlauch, der an jedem Ende mit einem hohlen konischen Metallzapfen versehen ist.

Der eine dieser Zapfen wird in das Loch gesteckt, mit welchem der Haupthahn *h* jeder Luftpumpe immer schon versehen ist, um evacuirte Gefäße entweder vom Pumpenkörper absperrern oder wieder mit Luft füllen zu können, und der andere Zapfen wird abwechselnd in eine der Dillen *i* und *k* gesteckt.

Soll der Apparat functioniren, so muß zuvörderst die Flasche *A* bis nahe an ihre Tubulatur mit Quecksilber gefüllt werden, wozu bei meinem Exemplar 40 Pfund erforderlich sind; dann muß der Haupthahn *h* der Luftpumpe so gestellt seyn, daß der in ihn eingesteckte Gummischlauch mit den Stiefeln communicirt.

Hierauf wird der andere Zapfen des Schlauchs in die

1) Dieser Seitenkanal *l* ist in der Figur, der Deutlichkeit halber, als rechtwinklich gegen den Hahn *g* dargestellt; es ist aber besser denselben in der Verlängerung dieses Hahnes anzubringen, und letzterem eine ähnliche doppelte Bohrung zu geben, wie sie der Hahn *h* der Luftpumpe besitzt. Dadurch wird verhütet, daß Quecksilber in den Kanal *l* komme.

Dille *k* gesteckt, der Griff des Hahnes *g* senkrecht, mit *p* nach unten, gestellt und die Pumpe in Bewegung gesetzt.

Zwei Kolbenhübe meiner Pumpe sind hinreichend, um das Quecksilber auf die erforderliche Höhe zu bringen, d. h., nicht allein das Gefäß *B* vollständig zu füllen, sondern auch, was zur sicheren Verdrängung aller Luft nothwendig ist, noch durch den Hahn *g* in das darüber befindliche Fläschchen *d* zu treiben.

Nachdem dieses geschehen, wird der Hahn *g*, mit *p* nach links, unter 45° gestellt, also das Gefäß *B* verschlossen, der Zapfen des Schlauchs zur oberen Dille *k* herausgezogen, in die untere *i* eingesetzt, und mit dem Pumpen wieder begonnen.

Vier Kolbenhübe meiner Pumpe reichen aus, um das Gefäß *B*, trotz seiner ansehnlichen Gröfse, wieder vom Quecksilber zu leeren, und somit darin ein Vacuum herzustellen, wie es ohne Auskochen des Quecksilbers nicht vollkommener zu erhalten ist.

Um nun dieses Vacuum seinem Zwecke gemäß zu benutzen, wird der Griff des oberen Hahns *g* horizontal gedreht, mit dem Ende *p* nach links, wodurch der Seitenkanal *l* und die damit verknüpften Röhren oder sonstige Hohlkörper mit dem luftleeren Gefäß *B* in Communication treten.

Sicherheits halber kann man vorher die Flasche *A* durch den Hahn *f* abschließen, wiewohl es nicht nöthig, so lange die Verbindung mit der Pumpe unterhalten bleibt. Auch ist nach vollzogener Evacuation das Gefäß *B* wiederum durch Drehung des Hahnes *g* zu verschließen.

Dies ist im Allgemeinen der Gang der Operation des Evacuirens, die natürlich so oft als nöthig wiederholt werden muß.

Sie erfordert, wie man sieht, keinen großen Kraftaufwand und ist auch mit keiner Gefahr verknüpft, zumal der Apparat in ein starkes Holzgefäß *C* von solcher Gröfse gestellt ist, dafs es in dem kaum denkbaren Fall eines Unglücks die ganze Quecksilbermasse aufzunehmen vermag.

Jede Wiederholung der Operation beginnt übrigens damit, daß man die Flasche *A* von der Pumpe trennt, und durch vorsichtige Drehung des Hahnes *f* das Quecksilber langsam in das Gefäß *B* emporsteigen läßt. Bei der geringen Capacität, welche meistens die evacuirtten Hohlkörper besitzen, füllt sich dasselbe wiederum größtentheils von selbst, so daß man, nach Oeffnung des Hahns *g*, nur wenig Luft zur oberen Dille herauszuziehen braucht.

Es versteht sich wohl von selbst, daß dieser Apparat, wenn er sorgfältig ausgeführt worden ist, dasselbe leisten muß wie die Geißler'sche Pumpe, da er ja nur durch die Methode des Exantlirens von derselben abweicht.

Von den vorläufigen Versuchen, welche ich mit demselben angestellt habe, will ich hier nur eines erwähnen, welcher geeignet ist, die Meinung zu widerlegen, als könne man mittelst der Quecksilberpumpe ein absolutes Vacuum herstellen. Ich habe nämlich versucht, ob das Verdünnungs-Gefäß *B*, nachdem es vom Quecksilber geleert worden, einen elektrischen Strom durchlasse. Und das ist wirklich der Fall. Verbindet man die eisernen Kappen des Apparats mit den Polen des Inductoriums, nachdem man durch den Hahn *f* einen Eisendraht in das Quecksilber der Flasche *A* gesteckt hat, so erhält man die bekannte Licht-Erscheinung aufs Schönste ausgebildet.

Zunächst dient der beschriebene Apparat, wie gesagt, nur zum Evacuiren von kleinen Hohlkörpern, die direct mit dem Seitenkanal *l* verknüpft werden. Er läßt sich indess auch zum Auspumpen größerer Gefäße benutzen, z. B. zum Auspumpen von Glocken, die einen Teller erfordern.

Dies wird erreicht, indem man den eben erwähnten Seitenkanal *l* durch ein biegsames Metallrohr mit der Luftpumpe in Verbindung setzt, und zwar mittelst des Hahns *m* der bei der Pistor'schen Pumpe zu der Hawksbee'schen Barometerprobe führt und zu diesem Zweck mit einer zweiten Bohrung, ähnlich der im Haupthahn *h*, versehen werden muß.

Stellt man nun den Haupthahn *h* zuvörderst so, daß eine Communication zwischen den Pumpenstiefeln und der auf dem Teller gesetzten Glocke errichtet ist, so kann man diese erstlich so weit evacuiren als es die Pumpe gestattet; und wenn man darauf den Haupthahn um einen rechten Winkel zurückdreht und durch den Gummischlauch mit dem Quecksilber-Apparat verknüpft, ist man durch die vorhin beschriebenen Operationen im Stande, das Evacuiren fortzusetzen und ein vollkommenes Vacuum herzustellen.

Es verlangt dies aber, wie natürlich, eine völlige Luftdichtheit aller Verbindungen, und wird auch dann noch ein langwieriges Geschäft bleiben, wenn das Volum der zu evacuiren den Glocke etwas beträchtlich ist gegen das des Verdünnungsgefäßes *B* der Quecksilberpumpe.

Die Idee zu der eben beschriebenen Vorrichtung kam mir im vorigen Herbst auf der Naturforscherversammlung in Gießen, wo ich Gelegenheit hatte, einigen von dem Bonner Geißler mit seiner Pumpe angestellten Versuchen beizuwohnen, aber auch Zeuge seyn sollte, wie leicht das Instrument durch ungeschickte Hände zertrümmert werden kann.

Nach meiner Rückkehr nach Berlin beschloß ich, meine Idee wenigstens versuchsweise sogleich verwirklichen zu lassen. Ich hatte sie bereits einem Mechanicus zur Ausführung übergeben, als ich, zu meiner nicht gerade angenehmen Ueberraschung aus dem unterdeß bei mir angelangten Septemberheft des *Philosoph. Magazine* er sah, daß der Rev. T. R. Robinson, derselbe, dem wir eine schätzbare Untersuchung über die Spectrallinien verdanken, schon eine Quecksilberpumpe nach ähnlichem Principe hatte verfertigen lassen.

Indeß fällt seine Idee nur zur Hälfte mit der meinigen zusammen. Er benutzt zwar, wie ich, zum Ausziehen des Quecksilbers aus dem Verdünnungsgefäß eine gewöhnliche Luftpumpe, aber zum Füllen desselben gebraucht er noch einen besonderen Apparat, einen aufrechten, 13 Zoll hohen

und 3,2 Zoll weiten Cylinder von Gussseisen, aus welchem mittelst eines Holzstempels das Quecksilber durch Druck in das Verdünnungsgefäß getrieben wird.

Dadurch und durch andere Einrichtungen wird das Instrument, das übrigens nur 10 Pfund Quecksilber faßt, so complicirt und ungeschickt in seiner Form, daß schwerlich anzunehmen ist, es werde sich eines großen Beifalls bei den Physikern erfreuen. Und daher habe ich dann auch nicht geglaubt, mit der Ausführung und Veröffentlichung meiner Idee anstehen zu dürfen.

Schließlich will ich noch erwähnen, daß wenn man sich darauf beschränken will, bloß einfache Röhren mit eingelassenen Platin- oder Aluminium-Drähten zu evacuiren, man gar nicht einer eigentlichen Quecksilberpumpe bedarf, und doch einen eben so hohen und selbst höheren Grad von Luftverdünnung erreichen kann als mittelst dieser.

Es ist dazu weiter nichts erforderlich als eine kleine Entbindungsflasche, die man etwa zur Hälfte mit Quecksilber füllt, und deren Hals und Tubulus durch Pfropfen verschlossen worden sind. Durch den Pfropfen des Tubulus steckt man einen eisernen Kanal, der durch einen Hahn verschließbar ist und nach außen in einer Dille ausläuft, und durch den Pfropfen des Halses schiebt man eine etwa 8 bis 10 Zoll lange Glasröhre, die ungefähr in der Mitte der zu evacuiren den Röhre und rechtwinklich an dieselbe angeschmolzen seyn muß.

Zunächst schiebt man die Ansatzröhre nur so tief hinein, daß sie ein wenig in das Quecksilber eintaucht, kehrt dann die Flasche um, damit sich die zu evacuiren de Röhre mit Quecksilber fülle, kocht, wenn man will, dasselbe aus, richtet die Flasche langsam wieder auf, während man die Ansatzröhre immer tiefer fast bis zum Boden derselben hineinschiebt, und verbindet nun die Dille des Hahns im Tubulus auf früher angegebene Weise durch einen Gummischlauch mit der Luftpumpe. Es wird kaum ein halber Kolbenhub nöthig seyn, um die Röhre zu evacuiren, die

man nun, nachdem der Hahn verschlossen und der Gummischlauch abgetrennt worden, entweder abschmelzen oder mit der Flasche in Verbindung lassen kann.

Obwohl in der Flasche nur ein sehr geringer Grad von Luftverdünnung nöthig ist, um die Röhre vollständig zu evacuiren, so ist es doch gerathen, besonders wenn man die Röhre nicht sogleich abschmelzt, die beiden Pfropfen vor dem Auspumpen wohl mit Siegellack zu überziehen.

XVII. *Ueber Nebenringe am Newton'schen Farbenglase; von J. Stefan.*

(Aus d. Sitzungsber. d. Wien. Akad. 1864; vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

In einer früheren Note habe ich mitgetheilt, daß man am Newton'schen Glase neben den farbigen Ringen ein System von feinen Halbkreisen wahrnimmt, wenn man die Pupille zum Theil mit einem feinen Glimmerblättchen bedeckt¹⁾. Diese Halbkreise befinden sich auf jener Seite des Farbenglases, welcher der unbedeckte Theil der Pupille zugewendet ist. Der Abstand des mittleren dieser Halbkreise vom Centrum der Newton'schen Ringe wurde der Quadratwurzel aus der Dicke des Blättchens proportional gefunden.

Seitdem habe ich eine solche secundäre Interferenzerscheinung am Newton'schen Glase noch auf eine andere Weise beobachtet. Wenn man schief gegen das Farbenglas sieht, so ist das vom Auge aufgenommene Licht immer theilweise polarisirt. Man überzeugt sich davon, wenn man das Farbenglas durch eine Turmalinplatte oder ein Nicol'sches Prisma betrachtet, bei dessen Drehung das Farbenglas heller und dunkler wird. Stellt man den Nicol so, daß das Farbenglas dunkel erscheint und bringt zwischen Farbenglas und Nicol eine parallel zur Axe geschnittene Quarzplatte von z. B. einem oder zwei Millimetern

Dicke, so daß die optische Axe der Platte gegen den Hauptschnitt des Nicols unter einem Winkel von 45 Graden geneigt ist, so sieht man am Farbenglase eine Reihe von Nebenringen, die zu demselben Centrum gehören, wie die primären Newton'schen, von diesen aber um so entfernter sind, je dicker die eingeschobene Quarzplatte ist. Dieses secundäre Ringsystem besteht aus einem mittleren schwarzen Ringe, an den sich farbige gegen das Centrum und gegen die Peripherie des Farbenglases hin anschließen.

Von jeder Stelle des Farbenglases kommen zwei Strahlen in's Auge, ein an der oberen und ein an der unteren Gränze der eingeschlossenen Luftschicht reflectirter. Jeder dieser Strahlen theilt sich beim Eintritte in die Quarzplatte in zwei, in den ordentlich und in den außerordentlich gebrochenen. Letzterer pflanzt sich in der Quarzplatte langsamer fort, als der ordentliche. Betrachten wir jetzt die zwei Paare: den außerordentlichen Antheil des von der Vorderfläche und den ordentlichen Antheil des von der Hinterfläche der Luftschicht kommenden Strahles als das erste Paar, die beiden anderen als das zweite Paar. Der Gangunterschied der beiden Antheile des ersten Paares wird offenbar durch die Quarzplatte herabgesetzt, der des zweiten Paares vergrößert. Die Verringerung des Gangunterschiedes im ersten Paare macht es, daß die Interferenz seiner beiden Antheile dem Auge wieder sichtbar wird. An jenen Stellen des Farbenglases, für welche die Quarzplatte den beim Durchlaufen der Luftschicht entstandenen Gangunterschied aufhebt, entsteht der mittlere schwarze Ring. Für die gegen das Centrum hin folgenden Ringe ist der durch die Quarzplatte ertheilte Gangunterschied dem absoluten Werthe nach größer als der vorhandene; da die beiden entgegengesetzten Zeichens sind, so bleibt ein um so größerer Rest übrig, je dünner die Luftschicht an der betreffenden Stelle ist. Für die gegen die Peripherie hin liegenden Ringe gilt das umgekehrte. Diese liegen an Stellen, für welche der durch die Luftschicht gegebene Gangunterschied den durch die Quarzplatte ertheilten über-

wiegt, so daß ein Rest bleibt, der um so größer ist, je dicker die Luftschicht an der betreffenden Stelle. Je weiter also einer der Nebenringe von dem mittleren entweder gegen das Centrum oder gegen die Peripherie hin entfernt ist, einem desto größeren Gangunterschiede der Strahlen entspricht er.

Bei dem Versuche mit dem Glimmerblättchen tritt eine Herabsetzung des Gangunterschiedes ein zwischen jenen Strahlen, welche von der Vorderfläche der Luftschicht reflectirt werden und durch das Blättchen gehen und jenen, welche von der Hinterfläche der Luftschicht zurückgeworfen, frei in das Auge treten. Hingegen wird der Gangunterschied der Strahlen, welche von rückwärts kommen und durch das Blättchen gehen, und jener, welche von vorne kommen und frei gehen, vergrößert.

Bei beiden Versuchen tragen jene Strahlen, die eine Vergrößerung des Gangunterschiedes erfahren haben, zur Erzeugung der secundären Ringe oder Halbkreise nichts bei.

Man kann Nebenringe am Newton'schen Glase noch dadurch erzeugen, daß man zwischen Nicol und Farben-
glas eine Quarzsäule mit senkrecht zur Axe geschliffenen Flächen bringt. Diese Säule muß aber eine beträchtliche Dicke haben, z. B. 30 Millimeter oder mehr. Die Nebenringe schließen sich an die Newton'schen an. Eine Aenderung des Gangunterschiedes erfahren hier die schief zur Axe durch die Säule gehenden Strahlen. Bei dünneren Platten verwischt sich die Erscheinung der Farbenringe, welche solche Platten im Polarisationsapparate zeigen, mit den Newton'schen Ringen.

XVIII. Einige Bemerkungen bezüglich der Polarisationsbatterie; von Prof. Julius Thomsen in Kopenhagen.

In diesen Annalen Bd. CXXIV, S. 498 habe ich eine kurze Beschreibung eines neuen Apparats, den ich Polarisationsbatterie nenne, gegeben. In einer Anmerkung zu dieser Mittheilung schreibt der geehrte Hr. Prof. Poggendorff: »Möge der Hr. Verf. mir hier die Bemerkung erlauben, daß sein Apparat wohl nur hinsichtlich der Constructionsart auf Neuheit Anspruch machen kann; in anderer Form habe ich denselben, nebst dem ihm zu Grunde liegenden Princip, schon vor länger als 20 Jahren beschrieben.« Diese Worte veranlassen mich zu folgenden Bemerkungen.

In der an angegebenem Orte citirten Originalabhandlung habe ich die verwandten Arbeiten von Ritter, Poggendorff und Grove über die secundäre Säule und die Gasbatterie hinlänglich erwähnt; dagegen habe ich es als überflüssig gehalten, dergleichen bekannte Sachen in der kurzen Mittheilung ($2\frac{1}{2}$ Seiten), die sich in diesen Annalen befindet und nur die Beschreibung des Apparats enthielt, aufzunehmen ¹⁾.

Vergleichen wir aber jetzt die secundäre Säule des Hrn. Prof. Poggendorff mit der Polarisationsbatterie. Zwar liegt beiden Apparaten dasselbe Princip zu Grunde, aber in dem Arrangement und in den Wirkungen sind die beiden Apparate wesentlich verschieden.

In dem Apparate des Hrn. Prof. Poggendorff werden *sämmtliche* Platinplatten *gleichzeitig* polarisirt; in mei-

1) Ich bin weit entfernt, dem geehrten Hrn. Verf. das Verdienst der Verbesserung meines Apparates streitig machen zu wollen, glaube aber doch noch jetzt, daß ein Paar Worte über letzteren, selbst in dem kurzen Auszuge, für die Leser der Annalen nicht überflüssig gewesen wären. Ich würde ebenso urtheilen, wenn die Sache auch nicht meine Person beträfe.

nem Apparat wird dagegen das *eine Plattenpaar nach dem anderen* der Reihe nach polarisirt. Welche sind die daraus resultirenden Verschiedenheiten in der Construction und in den Wirkungen der beiden Apparate?

Der Apparat des Hrn. Prof. Poggendorff bedarf einen sehr *complicirten* Ladungsapparat und giebt einen *discontinuirlichen* Strom; die Polarisationsbatterie hat dagegen einen sehr *einfachen* Ladungsapparat und giebt einen *continuirlichen* Strom.

In dem erstgenannten Apparate ist der Strom der Batterie unterbrochen so oft die Polarisation der Platten stattfindet; bei der Polarisationsbatterie ist der Batteriestrom vollständig continuirlich, indem die Polarisirung der Zellen den Batteriestrom durchaus nicht unterbricht. Der Strom der Polarisationsbatterie ist so *constant*, das die Nadel der Sinusbussole mit Coconaufhängung bei einem Ausschlag von 30° eine auf Minuten constante Stellung behauptet. Die Continuität zeigt sich auch durch die pysiologischen Wirkungen; denn faßt man die Pole der Polarisationsbatterie mit den Händen *fest* an, so spürt man, obgleich das Galvanoskop einen starken Strom anzeigt, durchaus keine Zuckungen; man fühlt nur die Wärme des Stromes, wie es der Fall ist bei allen continuirlichen Strömen. Wird aber der Strom künstlich unterbrochen, dann treten die physiologischen Wirkungen äußerst kräftig hervor.

Im Apparate des Hrn. Prof. Poggendorff hat der Ladungsapparat folgende Umschaltungen zu verrichten: 1) alle Verbindungen zwischen den Platten der Batterie aufzuheben; 2) die Platten wieder als ein einzelnes Plattenpaar zu vereinigen; 3) alle Verbindungen nochmals aufzuheben, und 4) die Platten als Batterie wieder zu verbinden. Dieses erfordert einen sehr complicirten Apparat, selbst bei Anwendung der von Hrn. J. Müller construirten Ladungswülste. Man denke sich z. B. einen Apparat mit 50 Plattenpaaren; dann sind 50 Becher mit je zwei Platinplatten, 100 Federcontacts und wenigstens 100 Plattencontacts erforderlich.

In der Polarisationsbatterie sind dagegen alle Theile der Batterie unbeweglich und mit einander fest verbunden. Jede Platinplatte entspricht ferner zweien Platinplatten in dem andern Apparate. Der einzige bewegliche Theil ist die Axe, welche die beiden Pole des polarisirenden galvanischen Apparates trägt.

Dieses sind die wesentlichsten Unterschiede zwischen der secundären Säule des Hrn. Prof. Poggendorff und der Polarisationsbatterie. Das Princip, welches beiden zu Grunde liegt, nämlich die Polarisation der Platinplatten zu benutzen, um einen quantitativ starken galvanischen Strom in einen Strom von hoher Spannung umzuändern, ist dasselbe; aber die Polarisationsbatterie ist der einzige bis jetzt construirte Apparat, in welchem ein continuirlicher elektrischer Strom von hoher Spannung und constanter Stromstärke mittelst eines einzelnen galvanischen Elements erlangt wird.

XIX. Beobachtungen über ein am 13. Dec. 1863 in Hermannstadt stättgefundenes Gewitter ungewöhnlicher Art; von Dr. G. A. Kayser.

(Aus d. Verhandl. u. Mittheill. d. siebenbürg. Vereins für Naturwiss 1864. No. 2), vom Hrn. Verf. übersandt.)

Der durch seine trockene, verhältnißmäßig milde, schneee- und regenlose Witterung ohnehin abnorme Spätherbst beschenkte uns noch am 13. December Nachmittags mit der, in unserer Gegend seltenen Erscheinung eines December-Gewitters, welches noch dadurch ausgezeichnet war, daß die elektrische Entladung in einer Form stattfand, wie sie von den Meteorologen nur äußerst selten beobachtet wurde.

Nach vorausgegangener mehrwöchentlicher Trockenheit

der Atmosphäre mit fast Windstille und sehr geringem Luftzuge von SO trat am 10. December Nebel und darauf ein ziemlich heftiger WNW-Wind auf, welcher bis am 12. Abends dauerte, die Nacht über nachliess, Sonntag den 13. Früh 8 Uhr als Sturm auftrat und bis Nachmittag fortobte. Die Temperatur erschien verhältnissmässig milde, das Thermometer zeigte am 13. 6 Uhr früh $+4,85$. Die Oscillation des Luftdruckes jedoch war von ungewöhnlicher Grösse, denn nach Hrn. Prof. Reifsenberger's Beobachtung sank das Barometer in der Zeit von 10 Uhr Abends des 12. bis 6 Uhr Morgens des 13. um $3''{,}78$ und bis 2 Uhr Nachmittags um $4''{,}07$ seines am 12. innegehabten Standes herab, zu welchem es sich bis 10 Uhr des 13. fast vollkommen wieder erhoben hatte. Nach 3 Uhr liess der Sturm nach; es erfolgte ein feiner Sprühregen, dann um 4 Uhr plötzlich die Drehung der Windfahne nach NW. und es trat in den untern Schichten der Atmosphäre ein ziemlich starker Sturm mit trockenem Schnee und Graupel-Gestöber auf.

Der Berichterstatter sah von seiner am kleinen Platze gelegenen Wohnung, von wo die Uebersicht des Himmels von S. bis NW. gestattet war, diesem merkwürdigen Getriebe der durch einander wirbelnden, in nicht sehr grosser Menge gebildeten Schneeflocken einige Zeit zu und richtete hierauf seinen Blick nach den höhern vollkommen schneefreien Schichten der Atmosphäre. Diese erschienen als ein gewöhnlicher grauer gleichförmig bedeckter Himmel, ohne dass man daran irgend einen dunkleren, auf das Vorhandenseyn einer Gewitterwolke hindeutenden Theil hätte unterscheiden können.

In demselben Augenblicke, als sein Blick gerade dahin gerichtet war, trat an einem Punkte in der grauen Wolkenschichte im Zenithe des davon in 12 Klafter scheinbarer Entfernung befindlichen metallenen Thurmknopfes der evangelischen Hauptkirche eine momentane kleinbegränzte Lichtaufwallung ein und daraus fuhr ein mächtiger Blitz-

los. Wie mit einer feurigen Flüssigkeit denselben überfließend und sich unterhalb wieder in einen Feuerstrom sammelnd, glitt er an der östlichen Seite der Thurmdachpyramide in gerader Richtung etwa 10 Kl. bis an das Dachfenster der Thürmerwohnung herab, wo er die untere schneebedeckte Luftschicht traf und unter Detonation und einer schönen Lichterscheinung mit nach allen Seiten aufflammendem, röthlich-weißgelbem Lichte, deren Basis aber schon durch vorbeiströmende Schneegestöbermassen verdeckt wurde, dem Blicke des Beobachters entchwand. Dem Letztern, der sich etwa 150 Schritte weit entfernt und gerade gegenüber von dem Orte der Erscheinung befand, kam die Detonation als ein dumpfer verhältnißmäßig nicht sehr bedeutender Schlag vor; ein Berichterstatter der hier erscheinenden Zeitung vergleicht sie in seinem Berichte mit einem Pistölenschusse, aber entferntere Beobachter haben einen heftigen Donnerschlag und dumpfes Rollen gehört.

Dieser mächtige Blitzstrahl erschien dem Auge als ein etwa 3 Zoll breites, geradliniges genau begränztes Feuerband von heller Chamoisfarbe; sein Glanz war bedeutend schwächer, als der der gewöhnlichen zickzackförmigen Blitze. Die Bewegung desselben war eine für Blitzstrahlen verhältnißmäßig sehr langsame, da das Auge, sowohl in der Luft als am Thurmdache, seinem Laufe bequem folgen und sowohl oberhalb, als unterhalb des Thurmknopfes, die von demselben noch nicht berührte Hälfte seines Weges genau wahrnehmen konnte. Die Zeitdauer der Erscheinung war also jedenfalls die von mehr als einer Secunde und dürfte 4 bis 5 Secunden betragen haben.

Arago in seiner Monographie des Blitzes unterscheidet vier Klassen desselben: den zickzackförmigen, den oberflächlichen, den kugelförmigen und den raketenförmigen. Bei Besprechung der letztern Klasse, zu welcher der beobachtete Blitzstrahl gehörte, erwähnt er einer Beobachtung von Schübler über einen Blitz dieser Form, wo der berühmte Meteorologe sagt: „Dieser Feuerstrom war so dick wie

ein Arm und endigte sich in eine grössere und glänzendere Kugel«; auch Kaemtz habe diese Erscheinung mehrmals beobachtet; Muncke hingegen berichtet, daß ein niederfahrender Blitz, der ungefähr 60 Meter lang zu seyn schien, vor seinen Augen sich in viele kleine Kugeln theilte. Weder eine derartige Theilung, noch eine kugelförmige Endigung war an dem beobachteten Blitzstrahl zu bemerken.

Der vom Blitze getroffene Thurm hat eine achtsseitige Dachpyramide und an jeder Ecke ein ebenso bedachtes Thürmchen. Aus dem auf der südlichen Seite gelegenen Fenster des südöstlichen Thürmchens laufen die Drähte der Telegraphen-Leitung von der Thürmerwohnung zur Feuerwache im Rathhause, wo der negative Draht an einer freien Wand des Hofes in eine brunnenartige Vertiefung geführt ist. An diesem an der Wand befindlichen Stücke des Drahtes sah nun, nach der Mittheilung des Hrn. Professor Reissenberger, ein Rathhausdiener zur Zeit des Blitzschlages einen Feuerstrom hinabfahren. Die vom Hrn. Professor untersuchte Drahtleitung zeigte richtig den negativen Draht am oberen Ende abgeschmolzen, und zwar an der Stelle, wo derselbe in einer scharfen Biegung an der Wand des Thürmchens zum Fenster desselben hinausführt. In der Umgebung dieses Punktes und oberhalb des Fensterrahmens waren versengte Stellen zu bemerken. Außerdem war sowohl am Thurne, als im Rathhause, der die beiden Spulen des Zeichengebers aus Smee'schen Apparate verbindende Kupferdraht abgeschmolzen. Diese Umstände deuten darauf hin, daß der Blitzstrahl sich entweder ganz, oder, wie Hr. Professor Reissenberger meint, theilweise durch die Telegraphenleitung in die Erde entlud. Das erstere wäre durch die Nähe des Telegraphendrahtes und die Verbindung des feuchten Thurmdaches mit dem des Thürmchens erklärlich; die zweite Ansicht hat ihre Berechtigung darin, daß man bei dem scheinbar gänzlichen Mangel an eigentlichen Gewitterwolken in den obern Schichten der Atmosphäre, das Bedingende der Erscheinung in der untern Schneesturmwolke suchen muß, welche gerade nur bis an

den Ort des Thurdaches, wo die Lichterscheinung auftrat, etwa 140' hoch reichte, und somit eine Entladung in die jedenfalls entgegengesetzt elektrisch polarisirte Wolke möglich und wahrscheinlich war. Die Lichterscheinung fände ihre Erklärung in dem Leitungswiderstande, welchen der Blitzstrahl an den durch den untern Luftstrom ihrer Feuchtigkeit beraubten glasierten Dachziegeln, oder an den trocknern Luftschichten desselben erfuhr.

Dem Umstande, daß durch den früher stattgefundenen Sprühregen die Pyramide des mit keinem Blitzableiter versehenen Thurdaches, vollkommen feucht war, ist diesmal die Rettung desselben von der Zerstörung zu danken und so, mit Rücksicht auf den Sturm, ein möglicherweise schauderhaftes Brandunglück verhütet worden.

Der Sturm ließ bald nach der elektrischen Entladung nach, es erfolgte fast Windstille ohne Schneefall bis 7 Uhr, wo derselbe wieder mit Schneegestöber eintrat, jedoch bald etwas und nach 11 Uhr Nachts bedeutend schwächer wurde, hierauf so die ganze Nacht fort dauerte bis er den 14. um 11 Uhr Früh mit Schneegestöber gänzlich aufhörte.

Man könnte leicht den WNW. Sturm, welcher am 13. Mittags am stärksten wehte, der ja auch in Hamburg, Wien, Pest, Szegedin und zwar in größerer Stärke wie hier aufgetreten, durch die so abnorme GröÙe der Oscillation des Luftdruckes verführt, für einen jener gefährlichen Wirbelstürme halten, welche aus dem Zusammentreffen der Nord- und Südpassatströmung entstehen, wenn die Verhältnisse der Windesrichtungen nicht dagegen sprächen. Diese deuten vielmehr auf ein gewöhnliches Verdrängen des Südstromes durch den Nordstrom hin. Der Letztere erreichte am 13. um 4 Uhr Nachmittags die Stadt und gab durch seine Trockenheit und niedrige Temperatur Veranlassung zum Entstehen der Schneesturmwolke in der durch den früher erfolgten Sprühregen noch ziemlich feuchten Atmosphäre und somit auch zu der des Gewitters.

Was den oben beschriebenen Blitzstrahl merkwürdig und interessant erscheinen läßt, ist die langsame Bewegung

desselben. Die Bedingungen dieser langsamen Bewegung des elektrischen Stromes in der Atmosphäre müssen eben sehr selten gegeben seyn, weil unter den vielen Beobachtern, die tausende der gewöhnlichen Blitze gesehen, es wenige giebt, die einen von dieser Form beobachtet haben.

In den meteorologischen Schriften, die dem Berichterstatteur freilich nur in sehr spärlicher Anzahl zu Gebote standen, sind zwar Untersuchungen über die Bedingungen mancher Formen des Blitzstrahls enthalten, aber über die des so langsam sich bewegenden, kugel- und raketenförmigen findet sich nichts aufgezeichnet. Kämtz (Lehrbuch der Meteorologie S. 427) sagt nur: »Dafs dieselbe scheinbare Regellosigkeit und Mannigfaltigkeit, welche uns die Funken der Elektrisir-Maschine zeigen, auch an den Blitzen, wo der Weg des Funkens viel gröfser ist, zu sehen sey«.

Das mag nun freilich wahr seyn, dennoch aber wäre es nicht uninteressant, die Verhältnisse der Bedingungen des atmosphärischen Zustandes für die Erzeugung solcher Art Blitze näher zu untersuchen.

Wir wollen bei unserem Falle es wagen, auf die Gefahr zu irren, dies zu thun.

Es ist natürlich, dafs wir uns zuerst um die Bedingungen der Verlangsamung eines elektrischen Funkens, wie sie durch die Beobachtungen an den Funken der Leydener Flasche oder dem Conductor der Elektrirmaschine gemacht worden, umsehen müssen und da finden wir, dafs die Vergröfserung der Schlagweite und Oberfläche der Batterie, so wie der Leitungswiderstand, so weit bis jetzt bekannt, den wesentlichsten Einflufs auf die Verlangsamung der Dauer eines elektrischen Funkens üben.

Ohne nun näher einzugehen in die hierauf bezüglichen bekannten Versuche von W. Weber, Rieffs, Masson und Feddersen, dessen Beobachtungen mit denen der Anderen nicht vollkommen übereinzustimmen scheinen, sollen uns in unserem Falle die daraus gefolgerten bekannten Gesetze als Anhaltspunkte dienen, die Buff im Artikel »Elektrisches Licht« (Handbuch der Chemie von

Liebig und Poggendorff S. 851) in folgenden Worten wiedergiebt:

1. Wenn der elektrische Strom vor der Entladung unvollkommene Leiter durchdringen muß, so wird *die Dauer der Lichterscheinung*, wenn auch immer noch so außerordentlich kurz, *doch bemerkbar verlängert*.

2. Gleichbleibende Bewegungshindernisse vorausgesetzt, vermindert sich die Zeit der Entladung und wahrscheinlich auch die Dauer des Funkens bei zunehmender Dichtigkeit der angehäuften Elektrizität, wogegen der Glanz wächst.

Wir haben gesehen, daß beim Beginne dieses Blitzstrahles der Himmel mit einer grauen nicht dichten, kontinuierlichen Wolkenmasse bedeckt war. Wir müssen also voraussetzen, daß hier die Bedingungen einer eigentlichen Gewitterwolke, d. h. große Dichte der Nebelmassen, somit starker Wasserniederschlag und erhöhte elektrische Leitungsfähigkeit, nicht gegeben, sondern wahrscheinlich wenig dichte und minder gut leitende Nebelmassen vorhanden waren.

Man könnte daher vielleicht annehmen, daß die Elektrizität durch die plötzlich auftretende vertheilende Kraft der untern Schneesturmwolke gezwungen war, aus dem Innern der ausgedehnten Wolkenmasse, durch nicht dichte, daher nicht sehr feuchte und so einen verhältnißmäßigen Leitungswiderstand bietende Schichten an die Oberfläche bis zum Punkte, wo der Blitz entstand, zu gelangen, durch die Ueberwindung dieses längeren Leitungswiderstandes eine geringere Bewegungsenergie mitbrachte und dadurch eine im Verhältnisse zu gewöhnlichen Blitzen so auffallende Verlangsamung der Bewegung dieses Blitzstrahles bedingte.

Auch dürfte die langsame Bewegung und der schwache Glanz des beobachteten Blitzes vielleicht darauf hindeuten, daß trotz der so prachtvoll erscheinenden, bedeutenden Breite des Feuerstrahles die Dichte des elektrischen Stromes hier eine verhältnißmäßig geringere, als bei zickzackförmigen Blitzen gewesen.

Demgemäß könnte daher ein solcher Blitzstrahl aus gewöhnlichen, eigentlichen Gewitterwolken, wenn der elek-

trische Ausgleich unmittelbar von ihrer Oberfläche aus geschieht, niemals hervortreten, weil bei diesen durch den stärkern Wasserniederschlag eine erhöhte Leitungsfähigkeit und daher eine raschere Bewegung der Elektrizität zur Oberfläche bedingt ist, somit dieselbe eine grössere Bewegungsenergie und Dichte vor dem Ausgleich besitzt und dieser daher in der gewöhnlichen so äusserst kurzen Zeit von weniger als ein Tausendstel-Sekunde stattfindet.

In wie weit nun diese Ansicht irgend. welche Berechtigung hat oder nicht, kann der Berichterstatter an den bis jetzt erschienenen Mittheilungen über langsam sich bewegende Blitzastrahlen leider nicht prüfen, da ihm die Literatur darüber nicht zu Gebote steht.

Man könnte etwa einwenden, daß die beobachtete, obere gleichförmige Wolkenschicht nur der äusserste lockere Rand einer Gewitterwolke gewesen, deren dichter Kern sich weit oben befand, oder, daß hoch in den obern Schichten der Atmosphäre eine Gewitterwolke war, die auf eine unter ihr befindliche, durch isolirende Luftschichten, getrennte, lockere, ausgedehnte Nebelmasse vertheilend gewirkt und so eine Entladung aus der letzteren in den Thurmknopf veranlasst habe.

Die Fälle fanden bei dem beschriebenen Blitzstrahl wahrscheinlich nicht statt, was daraus ersichtlich, daß ein einer eigentlichen Gewitterwolke entsprechender dichter Kern, wenn er auch weit ober dem Ausgangspunkte des Blitzes sich befand, doch in der gleichförmig grauen, durchaus nicht dunklen Wolkenschicht durch eine dunklere Schattirung sich kenntlich machen mußte, was jedoch nicht der Fall war.

Auch würde aus einer eigentlichen Gewitterwolke nach der elektrischen Entladung wie es gewöhnlich geschieht, wahrscheinlich Regen erfolgt seyn, was jedoch nicht stattfand, sondern an der grauen Wolkenmasse war nach der elektrischen Entladung keine auffallende Veränderung bemerkbar, wogegen die Bildung der unteren Schneesturmwolke noch einige Zeit fortbestand.

Die Annahme, daß: die elektrische Vertheilung, welche das Gewitter hervorrief, von der untern Schneesturmwolke ausging, findet ihre Berechtigung in folgenden Umständen.

Wahrscheinlich waren die untern Schichten der Atmosphäre, nach dem; bei niedern Barometerstande kurz vorher erfolgtem Regen negativ elektrisch, wie diess in solchen Fällen nach Quetelet's Institut 1851, S. 245 in Brüssel fast stets stattfand.

Da nun die Schnee- und Graupelmassen nach Schüller's, Grofse's und Dellmann's Beobachtungen gewöhnlich auch negativ elektrisch sind, so dürften in unserm Falle die gebildeten Graupelmassen durch die von einem Sturmwinde von der Stärkenummer 7 veranlaßte Reibung derselben an den Gegenständen der Erdoberfläche, die negative Spannung noch bedeutend vermehrt haben, welche dann beim Durchpassiren der Schneesturmwolke durch die Häusermasse der Stadt ihre höchste Intensität erreicht haben dürfte, und somit in den untern Luftschichten eine bedeutend elektrisch vertheilende Kraft entwickelt wurde. Die wahrscheinlich negative Elektrizität des Randes der obern Wolkenschicht mußte weit zurückgedrängt und der großen Influenz entsprechend aus der ausgedehnten, lockern Wolkenschicht von großer Entfernung her die positive Elektrizität dem Punkte zuströmen, welcher dem Thurmknopfe als dem Sammelpunkte dieser Influenzwirkung, am nächsten war.

Bei gehöriger Spannung waren somit die Bedingungen zu elektrischer Entladung gegeben, deren ungewöhnliche Form eben die geringe Dichtigkeit der Nebelmassen in der obern ausgedehnten Wolkenschicht bedingte.

Man kann mit großer Wahrscheinlichkeit behaupten, daß nach den gegebenen Verhältnissen in der Atmosphäre, ohne das Auftreten der Schneesturmwolke, gewiß keine elektrische Entladung erfolgt seyn würde.

Zur Beurtheilung der meteorologischen Verhältnisse der Atmosphäre in den Zeiten vor und nach dem Gewitter mögen hier noch die mir von meinem Freunde Hrn. Prof.

Reißberger gütigst mitgetheilten Beobachtungen einen Platz finden. Es war nämlich:

1. Der *Luftdruck* auf 0° reducirt in Par. Linien:

December	6 ^h	2 ^h	10 ^h	Mittel
12	319,18'''	318,55'''	319,17'''	318,97'''
13	315,43	314,80	318,87	316,37
Monatsmittel	322,27	322,10	322,29	322,22

2. Die *Luftwärme* in Graden Réaumur:

December	6 ^h	2 ^h	10 ^h	Mittel
12	2,40°	3,60°	0,80°	2,27°
13	4,85	4,10	—0,80	2,72
Monatsmittel	—4,33	—0,41	—3,49	—2,74

3. Die *relative Feuchtigkeit* in Procenten.

December	6 ^h	2 ^h	10 ^h	Mittel
11	0,97	0,85	0,77	0,86
12	0,67	0,69	0,88	0,75
13	0,68	0,63	0,89	0,73
14	0,79	0,93	0,94	0,89
Monatsmittel	0,91	0,80	0,90	0,87

Die langsam sich bewegenden Blitzstrahlen haben auch in sofern ein theoretisches Interesse, als man sich hier den Fortgang des elektrischen Stromes nur in einer nach Faraday sogenannten fortführenden Entladung denken, oder durch die mechanische Theorie, wie sie Dr. Subic in seinen Grundzügen der mechanischen Elektricität entwickelt hat, erklären könnte, da hier von einem Entgegenkommen eines Funkens von dem entgegengesetzt elektrisirten Ausgangspunkte keine Rede seyn kann.

Die Erscheinung der so manches Ungewöhnliche bietenden, langsam sich bewegenden Blitzstrahlen, besonders die der kugelförmigen, dürfte wohl mit Recht den Meteorologen zur eingehenden Prüfung der Bedingnisse unter welchen sie stattfanden, empfohlen werden, wenn diese Prüfung nicht eben schon längst vielleicht in genügender Weise durch Du Moncel (*Compt. rend. XXVIII*, 408 u. *XXXVII*, 995) und Poey (*Compt. rend. XLII*, 83) oder in anderen uns unzugänglich gewesenem Schriften erörtert worden ist.

Leider sind uns über jene Abhandlungen, die kugelförmigen Blitze, nur die Literaturquellen aus dem Jahresbericht über Physik und Chemie von J. Liebig und H. Kopp bekannt geworden.

**XX. Ueber die Erscheinung der negativen Luft-Elektricität bei heiterem Himmel;
von F. Dellmann.**

Im Interesse der Lösung eines wissenschaftlichen Problems wende ich mich durch folgende Mittheilung mit angeschlossener Bitte an die Hrn. Physiker und Meteorologen.

Hr. Prof. Meissner in Göttingen hat bekanntlich in seinem vortrefflichen Werke: »Untersuchungen über den Sauerstoff«, eine neue Theorie der Luft-Elektricität gegeben. Er ist, um es hier kurz zu sagen, der Ansicht, daß die $+$ E. der Atmosphäre bei heiterem Himmel durch Wolken- oder Gewitter-Elektricität entstehe. Wie in seinen sehr sorgfältig ausgeführten experimentellen Untersuchungen durch den Inductionsstrom der neutrale Sauerstoff in Ozon und Antozon polarisirt werde, so geschehe es in der Atmosphäre durch die Wolken-Elektricität. Das Ozon werde wegen seiner großen Verwandtschaft zu vielen oxydirbaren Körpern der Luft bald entzogen und es bleibe das Antozon mit $+$ E. zurück, trete diese $+$ E. aber an die Wassermoleküle der Atmosphäre ab. Dabei äußert er die Vermuthung, daß es wohl schwer halten werde, die $-$ E. des Ozons durch Spannungserscheinungen nachzuweisen.

Ferner hat Hr. Prof. Palmieri in Neapel seit Jahren auf dem Vesuv-Observatorium in einer Höhe von 637^m über dem Meere und auf dem der Universität der Stadt meteorologische Beobachtungen, und auch solche über at-

mosphärische Elektricität gemacht. Er hat in der Zeitschrift: *Rendiconti dell' accademia delle scienze fisiche e matematiche di Napoli*, Jahr 1863, S. 197 und 198 eine Mittheilung gegeben über den in der Ueberschrift genannten Gegenstand. Wahrscheinlich erklärt er den in der kleinen Abhandlung mitgetheilten Fall ganz richtig; und es lassen sich wohl auch die Erscheinungen, welche ich in diesen Annalen Bd. CXII, S. 631 ff. beschrieben habe, in derselben Weise erklären. In den letzten Wochen habe ich bei dem unvergleichlich heiteren April-Wetter mehrfach dieselbe Erscheinung beobachtet unter Umständen, welche diese Erklärungsweise nicht zulassen. Diese Umstände sprechen vielmehr dafür, daß es Luftwellen waren mit überwiegendem Ozon, weil nämlich jedes Mal die Erscheinung in ein paar Minuten vorüber ging. Die Erscheinungen stellten sich jedes Mal ein am Tage nach einer Barometer-Depression mit mehr oder weniger bewölktem Himmel, auch bei stärkerm NO als gewöhnlich. Die Barometer-Depression und der bewölkte Himmel ließen mich ein Gewitter erwarten, welches aber nicht erfolgte. Sollte aber doch in der Entfernung, was ich sehr vermute, ein Gewitter vorgekommen seyn, so bekäme dadurch der Schluss, besonders wenn die Richtung von Kreuznach aus damit stimmte, eine fast an Gewissheit gränzende Wahrscheinlichkeit, und die Erscheinungen wären dann eine schöne Bestätigung der Theorie des Hrn. Prof. Meissner.

Es werden deshalb Physiker und Meteorologen freundlichst gebeten, mir sichere Nachrichten über Gewitter, welche in der zweiten Hälfte dieses Monats vorgekommen sind, recht bald gütigst mitzutheilen.

Kreuznach, Ende Aprils 1865.

I. *Ueber die innere Reibung der Gase;*
von Oskar Emil Meyer.

Erste Abhandlung.

Ueber den Einfluß der Luft auf Pendelschwingungen.

(Auf der Naturforscher-Versammlung zu Stettin am 23. September 1863
vorgetragen in der Section für Physik, Mathematik und Astronomie.)

In neuester Zeit hat sich unter den Anhängern der atomistischen Naturanschauung eine Verschiedenheit der Grundvorstellungen, welche so alt wie die Atomistik selber ist, von neuem geltend gemacht. Während fast alle Naturforscher über die Nothwendigkeit der Hypothese einig sind, nach welcher die *Materie* aus discreten Theilchen unmeßbarer Kleinheit bestehen soll: weichen die Ansichten über das Wesen und die Ursache der *Kraft* aus einander. Von den beiden einander gegenüberstehenden Meinungen sucht die eine den Grund der Kräfte in einer den kleinsten Theilchen der Materie inwohnenden Eigenschaft, durch welche dieselben sich sowohl in endlicher Entfernung von einander, als auch in unmeßbarer Nähe gegenseitig anziehen oder abstoßen. Nach der andern Vorstellung dagegen kommt jenen kleinsten Theilen keine andere Eigenschaft zu, als die der Undurchdringlichkeit; und sie sollen nur dadurch auf einander wirken, daß sie, in Bewegung begriffen, in Folge der genannten Eigenschaft einander vom Platze verdrängen.

Von diesen beiden Ansichten war die letztere im 18^{ten} Jahrhundert fast allein geltend. Dennoch aber hat die erstere am Ende des vorigen und im Anfange des jetzigen

Jahrhunderts über jene einen so entschiedenen Sieg davon getragen, daß man dieselbe ganz vergessen konnte. Gegenwärtig sind die Ansichten sehr getheilt zwischen beiden Hypothesen, die ich als die der *molecularen Kräfte* und die der *molecularen Stöße* unterscheiden will; und neben diesen beiden extremen Ansichten ist die zwischenliegende sehr verbreitet, nach der manche Kräfte in molecularer Anziehung, andere in molecularer Bewegung ihre Erklärung finden.

Für beide Ansichten lassen sich gewichtige Gründe geltend machen. Auf der ersten Vorstellung, welche die Hypothese der molecularen Kräfte zu Grunde legt, beruht fast das ganze Gebäude der mathematischen Physik, wie es heute dasteht. Die andere Hypothese hat ihre große Bedeutung für ein Capitel, für die mechanische Wärmetheorie; und außerdem hat diese Hypothese der molecularen Stöße den großen Vorzug, daß sich aus ihr einige wichtige Gesetze als *nothwendige* Folgerungen ergeben, während die andere Hypothese denselben zwar nicht entgegen steht, doch die Frage nach ihrer Begründung unbeantwortet läßt. Dahin gehören das Gesetz für den Druck der Gase von Mariotte und Gay-Lussac¹⁾, sowie das Newton'sche Gesetz der Gravitation, das Le Sage aus der Annahme eines in Bewegung begriffenen Aethers erklärt hat²⁾.

Andererseits aber hat die weitere Verfolgung der Hypothese der molecularen Stöße bereits auch zu solchen

- 1) Daniel Bernoulli, *Hydrodynamica* 1738. — Pogg. Ann. Bd. 107 S. 490.

Daniel et Jean Bernoulli, *nouveaux principes etc.* 1746. — *Recueil des pièces de prix de l'Acad.* T. 5, 1752.

Joule, *mem. of the Manchester society*, 9, 1851; *Phil. Mag.* S. IV, B. 14 1857.

Krönig, Pogg. Ann. Bd. 99, S. 315, 1856.

Clausius, Pogg. Ann. Bd. 100, S. 353, 1857.

- 2) *Essay de Chimie Mécanique, couronné en 1758 par l'Académie de Rouen.*

P. Prevost, *de l'origine des forces magnétiques.* 1788, 1. partie. Chap. 2. — Uebersetzung von Bourguet, Halle 1794.

Prevost et Le Sage, *deux traités de physique*, 1818.

Folgerungen geführt, welche durch die Beobachtung noch nicht bestätigt sind, und welche zum Theil so unwahrscheinlich erscheinen, daß sie einer Prüfung durch die Beobachtung nicht entbehren können.

Maxwell¹⁾ hat auf die Hypothese der molecularen Stöße theoretische Betrachtungen gegründet, aus denen sich das auffallende Resultat²⁾ ergibt, daß der Reibungscoefficient eines Gases, sowie dessen Wärmeleitungsfähigkeit von der Dichtigkeit des Gases oder dem Drucke, unter dem es steht, unabhängig seyen. Stefan³⁾ macht darauf aufmerksam, daß, wenn die Hypothese der molecularen Stöße richtig ist, der Reibungscoefficient eines Gases mit steigender Temperatur zunehmen müsse, während im Gegentheil die Beobachtung bewiesen hat, daß er bei Flüssigkeiten mit steigender Temperatur abnimmt. Clausius⁴⁾ endlich entwickelt aus der Hypothese das Gesetz, daß die Leitungsfähigkeit eines Gases für die Wärme von der Dichtigkeit unabhängig sey und mit steigender Temperatur zunehme.

Mir waren diese Resultate der Theorie, soweit sie die innere Reibung betreffen, nicht unbekannt, als ich meine ersten Untersuchungen über die Reibung abschloß⁵⁾. Ich wagte aber damals meine Ansicht über dieselben nur anzudeuten⁶⁾, weil meine Beobachtungen nicht ausreichten, die Richtigkeit derselben und somit die Zulässigkeit der Hypothese einer Prüfung durch die Erfahrung zu unterwerfen.

Diese Lücke meiner Beobachtungen habe ich durch eine neue Experimental-Untersuchung ausgefüllt, bei welcher ich mir die Aufgabe stellte, *durch Messungen festzustellen, in welcher Weise die Constante der inneren Rei-*

1) *Phil. magazine*, 4. series, Vol. 19, p. 20, 1860; Auszug *Report of the British Association*, 29. meeting, Aberdeen 1859, transactions p. 9; 30. meeting, Oxford 1860, transact. p. 15.

2) *a very startling consequence*. — *Phil. Mag.* Vol. 19, p. 32.

3) *Sitzungsberichte der Wiener Akademie* Bd. 46, S. 12, 1862.

4) *Pogg. Ann.* Bd. 115, S. 49 u. 56, 1862.

5) *Pogg. Ann.* Bd. 113, 1861.

6) S. 886.

bung der Luft von dem Drucke und der Temperatur der Luft abhängt. Die Methode und die Resultate dieser Untersuchung mitzutheilen, ist der Zweck gegenwärtiger Abhandlung. Kann ich auch für den speciellen Gegenstand derselben kein großes Interesse voraussetzen, so glaube ich dennoch wegen der Beziehung zur Maxwell'schen Theorie, daß meine Beobachtungen als ein Mittel, die Zulässigkeit der Hypothese der molecularen Stöße zu prüfen, einigen Werth besitzen. Zu einer solchen Prüfung dieser Hypothese scheint sich eine Untersuchung der Reibung ganz besonders zu eignen, weil die Reibung im Sinne der Hypothese einer der einfachsten Vorgänge ist, bei denen die molecularen Bewegungen und Stöße zur Geltung kommen ¹⁾.

Die Resultate meiner Beobachtungen sprechen entschieden zu Gunsten der Maxwell'schen Theorie, folglich auch für die Richtigkeit der Hypothese der molecularen Stöße. Dasselbe wird durch Beobachtungen bestätigt, welche Graham über die Strömung von Gasen durch Capillarröhren angestellt hat ²⁾. Ich bin indess weit entfernt, in dieser Bestätigung der Theorie einen Beweis für die Wahrheit der Hypothese zu sehen; vielmehr halte ich weitere Prüfungen durch Beobachtungen anderer Art, namentlich durch thermische Beobachtungen, für durchaus nothwendig.

Außer dem besprochenen Beweggrunde rein theoretischer Natur trieb mich noch eine andere Veranlassung mehr praktischer Art, meine Beobachtungen wieder aufzunehmen und einer Revision zu unterwerfen.

Als ich jene ersten Beobachtungen publicirte, kannte ich die Fortsetzung einer damals erwähnten Arbeit von Stokes ³⁾ noch nicht. In dieser Fortsetzung ⁴⁾ entwickelt

1) Siehe unten §. 8.

2) *Phil. Transact. of the roy. soc. London* 1846 und 49. Die Berechnung dieser Beobachtungen gemäß der Theorie der Reibung werde ich in einer zweiten Abhandlung über denselben Gegenstand mittheilen.

3) *Transactions of the Cambridge philosophical society*, Vol. 8. part. 3, p. 287. 1847.

Stokes eine sehr allgemeine und elegante Theorie des Einflusses, den die Luft auf die Schwingungen von Pendeln ausübt, und nach dieser Theorie berechnet er aus Bailly'schen Pendelbeobachtungen ¹⁾ einen Werth der Reibungsconstante der atmosphärischen Luft, welcher sehr viel kleiner ist, als die von mir angegebenen Zahlen. Den Grund dieser Abweichung suchte ich anfangs in der geringen Genauigkeit meiner Messungen, die ich immer nur als angenäherte Schätzungen angesehen habe. Den Grund des Fehlers glaubte ich darin zu erkennen, daß ich keine Rücksicht auf die Aenderung genommen hatte, welche die Elasticität des Drahtes, an welchem mein Apparat nach Art einer Drehwaage aufgehängt war, durch wechselnde Belastung erleiden konnte ²⁾.

Andererseits können auch die Voraussetzungen, auf welche Stokes die Berechnung der Reibungsconstante aus Bailly's Messungen gründet, zweifelhaft erscheinen. Er benutzt die Zahlenwerthe, welche nach Bailly den Correctionsfactor darstellen, der bei der Reduction der Schwingungszeit eines Pendels auf den leeren Raum anzuwenden ist. Ob aber diese Zahlen jenen Factor wirklich angeben, kann bezweifelt werden.

Zur Reduction einer Schwingungsdauer auf den leeren Raum ist eine Multiplication derselben mit zwei Factoren erforderlich. Der erste enthält die von Bouguer eingeführte *aërostatistische* Correction ³⁾, der zweite die von Bes-

18. meeting of the British Association 1848, London 1849. Transactions of the sections p. 7, sowie *Philos. magazine*, 4. ser. Vol. 1 p. 337, 1851.

1) *Philosophical transactions of the royal society of London*. 1832, p. 399. Auszug *Phil. mag. third series*. Vol. 1 p. 379, 1832.

2) Hierauf bezieht sich eine Bemerkung in einer anderen Abhandlung in Crellé-Borchardt's *Journal für Mathematik*, Bd. 62, S. 201, Note.

3) *La figure de la terre, déterminée par les observations de Mrs. Bouguer et de la Condamine*. Paris 1749. 7. sect. No. 339 bis 40. Bessel (Unters. über das Sekundenpendel S. 32 und 63) führt Newton als Urheber an, ohne einen Beleg dafür beizubringen. In den Abhandlungen (*Mém. de Paris*, 1735), in welchen de Mairan, Godin,

sel aufgefundene *aërodynamische*¹⁾. Die aërostatistische berücksichtigt den Gewichtsverlust, den der pendelnde Körper gemäß dem Archimedischen Princip zu erfahren scheint. Dieser Theil der Correction kommt hier nicht in Frage.

Die aërodynamische Correction dagegen eliminirt die Vergrößerung der Schwingungsdauer eines Pendels, welche in einer scheinbaren Vermehrung seines Trägheitsmoments durch die von ihm mit in Bewegung versetzte Luft ihren Grund hat. Dieses Mitführen der Luft durch das Pendel besteht theils in einem einfachen Verdrängen derselben, theils in einem Mitziehen durch Adhäsion der Luft am Pendel und durch gleitende Reibung der Luftschichten an einander. Aus diesem Grunde ist die Gröfse der Besselschen Correction von großer Wichtigkeit für eine Untersuchung der Reibung der Luft.

Bessel hat die Bestimmung dieser Correction auf die einer Zahl k zurückgeführt, indem er den Reductionsfactor, mit dem das Quadrat der beobachteten Schwingungszeit zur Reduction auf den luftleeren Raum zu multipliciren ist, durch

$$\frac{1 - \frac{m'}{m}}{1 + k \frac{m'}{m}}$$

darstellt. Hierin bedeutet m die Masse des Pendels, m' die der verdrängten Luft und k ist eine von der Figur des Pendels abhängige Zahl. Er bestimmte diese Zahl für seinen Pendelapparat, indem er mehrere Beobachtungen, bei

Bouguer und Condamine die Resultate ihrer Messungen der Länge des einfachen Sekundenpendels mittheilen, ist jedoch von der Nothwendigkeit dieser Correction noch nicht die Rede, obwohl bei diesen Beobachtungen schon sehr feine Hülfsmittel, z. B. die von Mairan erfundene Methode der Coïncidenzen (S. 166), die gewöhnlich de Borda (Bessel, Unters. S. 11) zugeschrieben wird, benutzt worden sind.

- 1) Astronomische Nachrichten, No. 128. Bd. 6. 1827; Unters. über die Länge des Sekundenpendels, Berlin 1828, (in den Abhdlg. der Berl. Akad. von 1826) S. 32 ff.

denen diese Correction von verschiedenem Gewichte war, combinirte.

Die erwähnte Untersuchung von Baily, welche durch Sorgfalt und Geschick der Ausführung der Bessel'schen würdig an die Seite tritt, hatte zum Zweck, die Nothwendigkeit der neuen Correction durch Beobachtungen zu prüfen und ihre Gröfse durch Messungen zu bestimmen. Baily liefs zu diesem Zwecke eine grofse Zahl von Pendeln im luftgefüllten und im möglichst luftleeren Raume schwingen und verglich die Schwingungszeiten. Indem er annäherungsweise den luftverdünnten Raum als luftleeren ansah, berechnete er aus den zwei Beobachtungen die Bessel'sche Correction. Er erhielt auf diese Weise Zahlenwerthe, welche beträchtlich kleiner sind, als man es nach der Gröfse der von Bessel angegebenen Zahl erwarten sollte.

Die mathematischen Versuche zur theoretischen Bestimmung der Bessel'schen Correction haben ebenfalls zu Resultaten geführt, deren Gröfse hinter dem von Bessel beobachteten Werthe zurückbleibt¹⁾. Diefs liegt darin, dafs man die Reibung vernachlässigte. Diese zuerst berücksichtigt zu haben, ist das grofse Verdienst von Stokes, dem wir die einzige ausreichende Theorie verdanken. Zur Berechnung des Reibungscoëfficienten der Luft benutzte Stokes die Messungen Baily's, wobei sich eine schöne Uebereinstimmung derselben unter einander zeigte. Den so gefundenen Werth des Reibungscoëfficienten der Luft wendete dann Stokes auf den Bessel'schen Versuch an. Diese Rechnung führte zu einem theoretischen Werthe von k , der merklich kleiner ist als der beobachtete. Die Abweichung wird bei Stokes nicht genügend erklärt.

Wenn aber die von Baily zur Berechnung der Cor-

1) Eine Uebersicht der Literatur dieses Gegenstandes findet man in dem von Stokes gegebenen *Report on recent researches in hydrodynamics* p. 15 im *Report of the 16. meeting of the British Association at Southampton 1846. London 1847*, sowie in seiner erwähnten Abhandlung im 9. Bande der *Cambridge Transactions*, und ferner in Dove's Repertorium der Physik, Bd. I, S. 111.

rection angewandte Methode richtig seyn soll, so ist nothwendig, daß die verdünnte Luft, in der sich bei der einen Beobachtung das Pendel befindet, keinen merklichen Einfluß auf die Bewegung desselben ausübt. Man kann zweifeln, ob diese Voraussetzung richtig ist, und namentlich dann, wenn man das theoretisch von Maxwell gefundene Gesetz beachtet, nach welchem die Reibungsconstante von der Dichtigkeit der Luft unabhängig seyn soll.

Eine Prüfung der Richtigkeit oder Unrichtigkeit des Maxwell'schen Gesetzes ist demnach zugleich von Interesse für die Erklärung der Bessel'schen Correction der Pendellänge, deren numerischer Werth nach den bisherigen theoretischen und experimentellen Untersuchungen über diesen Gegenstand als zu groß erschienen ist.

Meine Messungen haben zu dem Resultate geführt, daß ein pendelnder Apparat in einem möglichst luftleer gepumpten Raume von der zurückgebliebenen dünnen Luft nicht nur merkliche, sondern sogar recht bedeutende Verzögerung seiner Bewegung erfährt, falls nur die Wandungen des luftverdünnten Raumes dem Apparate nahe genug sind, um auf die Bewegung der dünnen Luft einen hemmenden Einfluß auszuüben.

Nach dieser Erfahrung kann es nicht mehr zweifelhaft seyn, daß die von Baily ausgeführten Bestimmungen der aërodynamischen Reduction des Pendels auf den luftleeren Raum trotz der Feinheit und Genauigkeit der Messungen fehlerhaft sind. Dasselbe gilt von den Beobachtungen, welche Sabine¹⁾ in gleicher Absicht angestellt hat.

Zugleich ergibt sich, daß aus demselben Grunde die von Stokes durchgeführte Berechnung des Reibungscoëfficienten der Luft aus Baily's Messungen einen zu kleinen Werth dieser GröÙe geliefert hat; und es fällt damit eine, schon von Stokes selbst als zweifelhaft hingestellte, Schlusfolgerung²⁾ fort, nach welcher sich aus Beobachtun-

1) *Phil. Transact. of the r. soc. of London, for 1829 p. 207 and 331. 1831 p. 470.*

2) *Cambr. Tr. Vol. 9. part 2.*

gen von Sabine ergeben würde, daß der Reibungscoëfficient der Luft der Dichtigkeit derselben proportional sey.

Gegen Bessel's Bestimmungen der nach ihm benannten Correction läßt sich aber kein Einwand machen. Der aus seinen Messungen berechnete Werth der Reibung der Luft ist in vollständiger Uebereinstimmung mit meinen neuen Beobachtungen, soweit es bei der GröÙe der Fehler der letzteren erwartet werden darf. Im Mittel freilich liefern diese, welche mit den früheren ziemlich nahe übereinstimmen, Resultate, die seine Correction nicht ganz genau darstellen. Es tritt aber jetzt das umgekehrte Verhältniß ein. Während nämlich der von Stokes angegebene Werth des Reibungscoëfficienten zu klein ist, um der Bessel'schen Bestimmung zu entsprechen, ist der von mir gefundene zu groß. Nun aber liefert die Coulomb'sche Methode, die ich angewandt habe, nothwendig etwas zu große Werthe. Ich betrachte daher die GröÙe des Bessel'schen Werthes der Correction als vollkommen gerechtfertigt.

Dies sind die Gesichtspunkte und Resultate, deren weiterer Ausführung und Darlegung die nachfolgende Abhandlung gewidmet ist. In derselben unterwerfe ich zunächst in §. 1 die verschiedenen Methoden, welche zur Bestimmung der inneren Reibung der Luft in Anwendung zu bringen sind, einer näheren Untersuchung. Es kommen hier namentlich Beobachtungen zur Sprache, welche an Pendeln gemacht worden sind, und welche den Einfluß der Luft auf die Schwingungen dieser Apparate zeigen; aus einigen derselben werden Werthe des Reibungscoëfficienten der Luft hergeleitet. §. 2 enthält die Beschreibung des Apparates, §. 3 die Erläuterung der Berechnungsart der Beobachtungen und die Discussion einiger Fehlerquellen. In §. 4 werden die Beobachtungen mitgetheilt, welche ich unternommen habe, das Trägheitsmoment und andere Constanten des Apparats zu bestimmen, in §. 5 einige Beobachtungsreihen, welche zur Prüfung der Theorie geeignet erschienen. §. 6 enthält das Ziel der Untersuchung, die

Beobachtungen, durch welche ich das Gesetz bestimmt habe, nach dem der Reibungscoëfficient der Luft von der Dichtigkeit derselben abhängt. In §. 7 wird der Einfluß der Temperatur untersucht. Es ergibt sich aus beiderlei Messungen das von Maxwell theoretisch hergeleitete Gesetz als angenähert richtig. Für dasselbe gebe ich in §. 8 eine Ableitung aus der Hypothese der Molecularstöße, die mir einfacher als die von Maxwell mitgetheilte zu seyn scheint.

Eine zweite Abhandlung, welche ich hoffe bald folgen lassen zu können, wird die Anwendung der Theorie der Reibung auf die Analyse der Strömung von Gasen durch Capillarröhren enthalten.

Die in gegenwärtiger Abhandlung mitgetheilten Beobachtungen habe ich während meines Aufenthalts in Göttingen angestellt in der Zeit vom März 1861 bis Februar 1864. Theils beobachtete ich in verschiedenen Räumen des physikalischen Cabinets, theils in einem zum pathologischen Institute gehörenden Souterrain-Zimmer des akademischen Hospitals, in welchem eine außerordentlich feste, vor jeder Erschütterung sehr geschützte Aufstellung des Apparates fast unmittelbar auf den Fundamenten des großen Gebäudes möglich war. Den Directoren beider Anstalten, den Professoren W. Weber und W. Krause spreche ich meinen herzlichen Dank für diese und manche andere freundliche Unterstützung meiner Bemühungen hier öffentlich aus.

§. 1.

Von der Natur der inneren Reibung und den Methoden zur Messung derselben bei den Gasen.

Bewegt sich ein Körper in einer Flüssigkeit, so setzt er auch diese mit in Bewegung, und seine eigene Geschwindigkeit nimmt in dem Maasse ab, als er der Flüssigkeit Bewegung mittheilt. Hierin besteht der Widerstand der Flüssigkeiten. Ebenso erleidet umgekehrt eine Flüssigkeit Widerstand, wenn sie sich gegen einen ruhenden festen Körper bewegt.

Dieser Widerstand entsteht aus zwei verschiedenen Ursachen. Die Uebertragung von Bewegung geschieht sowohl dadurch, daß Körper und Flüssigkeit sich einander verdrängen, als auch durch die Adhäsion der Flüssigkeit am Körper und ihre innere Cohäsion. Aus der ersteren Ursache entsteht eine Art des Widerstandes, welche nur von der Trägheit der Materie, aus welcher die Flüssigkeit besteht, also nur von der Dichtigkeit derselben abhängt. Die zweite Art des Widerstandes hängt dagegen aufser von der Dichtigkeit noch von anderen specifischen Eigenschaften der Flüssigkeit ab, nämlich von der Stärke ihres Haftens an der Oberfläche des festen Körpers und von dem Grade des Zusammenhanges der Theile der Flüssigkeit unter einander, für welche letzteren man die Bezeichnungen Cohäsion, Viscosität, Tenacität, Zähigkeit u. dergl. m. gebraucht hat.

Im folgenden werde ich beide Arten des Widerstandes dadurch unterscheiden, daß ich die erstere Art, welche lediglich von der Trägheit der Flüssigkeit abhängt, ausschliesslich mit dem Namen *Widerstand* benennen werde. Die zweite Art dagegen, welche aufserdem noch von der Stärke der Cohäsion des Mediums abhängt, werde ich mit dem Namen *Reibung* bezeichnen, den ihr Newton beigelegt hat¹⁾, weil sie eine Kraft ist, welche, wie die Reibung fester Körper, dem Gleiten zweier Massen über einander sich entgegenstellt. Aufserdem hat diese Reibung der Flüssigkeiten noch das mit der der festen Körper gemeinsam, daß durch sie die vorhandene Geschwindigkeit allmählich als solche zerstört und in Wärme umgesetzt wird.

Eine solche Reibung der Flüssigkeiten findet sowohl an der Oberfläche eines festen Körpers zwischen diesem und einer ihn berührenden Flüssigkeit statt, als auch im Inneren der Flüssigkeiten zwischen den mit verschiedener Geschwindigkeit über einander gleitenden Schichten dersel-

1) *Attritus*, daneben aber auch *resistentia, quae oritur ex defectu lubricitatis*. *Phil. nat. princ. math. liber 2, sectio 9.*

ben. Diese beiden Arten unterscheidet man als *äußere* und als *innere Reibung der Flüssigkeiten*.

Widerstand und Reibung finden ihre Ursache in den Druckkräften im Inneren der Flüssigkeit; und zwar entsteht der Widerstand aus dem hydrodynamischen Drucke, d. h. demjenigen, welcher sich nach allen Richtungen gleich äußert und immer senkrecht gegen die Fläche gerichtet ist, auf welche er wirkt. Die Reibung dagegen entsteht durch Druckkräfte, welchen diese Eigenschaften im Allgemeinen nicht zukommen ¹⁾. Dieselben sind abhängig von der Gröfse der relativen Bewegung der Schichten der Flüssigkeit gegen einander; man nimmt sie daher in der Rechnung, indem man den Fall bedeutender Geschwindigkeiten ausschließt, den relativen Geschwindigkeiten proportional an, oder man setzt sie gleich den Differentialquotienten der absoluten Geschwindigkeiten nach den Coordinaten, dieselben multiplicirt mit einem Factor, der von der Beschaffenheit des Mediums abhängt. Dieser Factor wird als Coefficient oder als Constante der inneren oder der äußeren Reibung der Flüssigkeit bezeichnet, oder im Falle der inneren Reibung auch kurzweg als *Reibungscoefficient* oder als *Reibungsconstante*.

Eine solche Reibung, und zwar sowohl eine innere als auch eine äußere, ist nicht nur in tropfbar flüssigen Medien anzunehmen, sondern auch den Gasen, besonders der atmosphärischen Luft zuzuschreiben, obwohl sich vermuthen läßt, daß sie bei den elastisch flüssigen Medien sehr viel geringer seyn wird, als bei den tropfbar flüssigen. Daß sie indess bei den Gasen keineswegs zu vernachlässigen ist, haben vielfältige Erfahrungen ²⁾ bewiesen; und

1) Aus diesen und den folgenden Principien sind die Differentialgleichungen der inneren Reibung von Stokes aufgestellt worden (*Cambr. Tr.* 8.) und neuerdings von Stefan (Wiener Sitzungsberichte Bd. 46, 1892). Andere Methoden haben angewandt Navier (*Mém. de l'Acad.* t. 6, p. 389. 1822), Poisson (*Journ. de l'école polyt.* t. 13, cah. 20, p. 139) und Barré de St. Venant (*Comptes rendus*, Bd. 17, S. 1240; Bd. 22, S. 307; Bd. 24, S. 243.)

2) Stokes *Cambr. Tr.* 9 in

nach den vorhandenen Messungen scheint dieselbe bei den Gasen sogar weit gröfser zu seyn, als man nach ihrer geringen Dichtigkeit erwarten möchte.

Die Messung der inneren Reibung eines Mediums in absolutem Maafse besteht in der Bestimmung des Werthes des Reibungscoefficienten. Diese Bestimmung wird erschwert und verwickelt dadurch, dafs bei allen Versuchen, welche man zur Erforschung der inneren Reibung anstellen kann, immer neben dieser auch die äufsere mit auftritt. Glücklicher Weise aber haftet die Luft an der Oberfläche aller untersuchten festen Körper sehr fest¹⁾, meistens so sehr dafs ein Gleiten derselben an der Oberfläche nicht stattfindet. Dann kann von einer äufseren Reibung keine Rede seyn, und es kommt bei Versuchen nur die innere Reibung der Luft in Betracht. Diefs Resultat hat bereits Stokes²⁾ aus Baily's Beobachtungen hergeleitet, und meine Beobachtungen bestätigen dasselbe³⁾. Hierdurch wird die Bestimmung der inneren Reibung der Luft wesentlich erleichtert.

Die Methoden, welche zu diesem Zwecke geeignet sind, unterscheiden sich nicht wesentlich von denjenigen, welche angewendet worden sind, die innere Reibung tropfbarer Flüssigkeiten zu messen.

Unter diesen zeichnet sich durch besondere Einfachheit und Leichtigkeit der Anwendung diejenige aus, nach welcher die Reibung aus der Beobachtung der Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeit in Folge eines bestimmten Drucks durch eine Capillarröhre strömt, hergeleitet wird. Derartige Beobachtungen sind auch bereits von Graham⁴⁾ für Gase in derselben Vollständigkeit ausgeführt worden,

der Einleitung zu seiner Abhandlung. — Venturi, *recherches sur la communication latérale du mouvement dans les fluides*. Paris, an VI, 1797, pag. 65, prop. 12. usw.

1) Vergl. unter anderen die sehr zahlreichen Versuche von Magnus (Pogg. Ann. Bd. 121, S. 174, 1864.)

2) *Cambr. Tr.* 9, part. 2, p. 18.

3) Siehe den Schluss des §. 6 dieser Abhandlung.

4) *Phil. Transact. f.* 1846, p. 573; 1849, p. 349.

wie sie Poiseuille¹⁾ für tropfbare Flüssigkeiten angestellt hat. Die Berechnung des Reibungscoefficienten aus diesen Messungen an Gasen ist indess bei weitem nicht so einfach, wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten.

Dies beruht darauf, daß das Gesetz nicht von vorn herein bekannt ist, nach welchem der Reibungscoefficient eines Gases von der Dichtigkeit desselben oder von dem Drucke, unter dem es steht, abhängig ist. Bei Flüssigkeiten war es nicht gewagt, die Reibung unabhängig vom Drucke anzunehmen, weil die Flüssigkeit durch denselben keine bedeutende Compression, noch eine sonstige beträchtliche Aenderung ihrer Eigenschaften erleidet. Bei Gasen aber, deren Dichtigkeit dem Drucke proportional ist, bedarf das Gesetz, nach welchem Dichtigkeit und Reibungscoefficient unter einander verbunden sind, eines besonderen Beweises durch die Beobachtung.

Läßt man nun aber ein Gas durch eine Röhre strömen, so ist der Druck an verschiedenen Stellen innerhalb derselben verschieden, folglich auch die Dichtigkeit und möglicher Weise auch die Reibung. Da aber das Gesetz, nach welchem sich diese mit dem Drucke ändert, nicht bekannt ist, so läßt sich die theoretische Berechnung des Phänomens nicht durchführen; und damit verschwindet, obwohl man aus Graham's Beobachtungen leicht den Schluß zieht, daß jenes Gesetz für alle Gase dasselbe ist, die Möglichkeit, aus den Zahlenresultaten der Beobachtung die fundamentalen Constanten der Theorie abzuleiten. Man könnte freilich durch Hypothesen, deren Resultat man mit der Beobachtung vergliche, zum Ziele gelangen; doch wäre dieser Weg umständlich, und er gewährt nicht die Sicherheit, daß das gefundene Resultat das einzige ist, welches der Beobachtung genügt.

Kennt man aber durch vorausgegangene Beobachtung nach anderen Methoden jenes Gesetz, nach welchem sich der Reibungscoefficient mit dem Drucke ändert, so empfiehlt

1) *Annales de Chimie. 3. série, tomes 7 et 21. — Mém. des savants étrangers 9.*

sich die Bestimmung der Reibung durch die Beobachtung der Strömung in Röhren ganz außerordentlich, sowohl durch die Leichtigkeit ihrer Ausführung als durch die Feinheit ihrer Resultate. Ich werde daher in einer zweiten Abhandlung ausführlich auf Graham's Beobachtungen eingehen.

Um nun dieses Gesetz der Abhängigkeit der Reibung vom Drucke zu finden, hat man eine solche Beobachtungsmethode anzuwenden, daß bei jeder einzelnen Beobachtung der Druck constant bleibt, dagegen aber von einer zur anderen variiert. Diese Forderung läßt sich bei einer Methode erfüllen, nach welcher die Bewegung eines Pendels in einem Gase von bestimmter Dichtigkeit, also unter dem Einflusse der Reibung dieses Gases, beobachtet wird.

Bei der Untersuchung des Einflusses, den die Reibung der Luft auf die Schwingungen eines Pendels ausübt, können zweierlei Dinge Gegenstand der Beobachtung seyn, sowohl die Vergrößerung, die die Schwingungsdauer des Pendels durch die Luftreibung erfährt, als auch die allmähliche Abnahme der Schwingungsbögen. Die erstere GröÙe ist in der von Bessel eingeführten Correction enthalten, welche die Reduction des Pendels auf den luftleeren Raum zum Zwecke hat, die andere wird bestimmt durch das logarithmische Decrement der Amplituden. Aus dem beobachteten Werthe einer dieser beiden GröÙen muß sich also die Reibungsconstante der Luft ableiten lassen.

Zur Bestimmung der Correction für den luftleeren Raum sind zwei verschiedene Wege eingeschlagen worden, der eine von Bessel und nach ihm von Schumacher, der andere von Sabine und darauf in größerer Ausdehnung von Baily.

Die Methode von Sabine¹⁾ und Baily²⁾ beruht auf einem sehr naheliegenden Gedanken. Um den Einfluß der Luft auf die Schwingungen eines Pendels kennen zu lernen, braucht man nur das Pendel in einen luftleeren Raum

1) *Phil. Transact.* 1829, p. 207, 331; 1831, p. 459.

2) *Phil. Transact.* 1832, p. 399.

zu bringen und die Dauer seiner Schwingungen in demselben mit der im luft erfüllten Raume zu vergleichen¹⁾. Diese Methode haben beide Beobachter angewandt, und sie haben auf diese Weise den Bessel'schen Correctionsfactor k für eine große Zahl von Pendeln verschiedener Form und Größe bestimmt. Für ein Sekunden-Pendel von der gewöhnlichen Form der Uhrpendel fand Sabine²⁾

$$k = 0,655.$$

Die Beobachtungen von Baily³⁾ an 86 verschiedenen Pendeln ergaben eine große Veränderlichkeit dieses Coefficienten mit der Gestalt des schwingenden Körpers. Für eine anderhalbzöllige pendelnde Kugel ergab sich im Mittel

$$k = 0,86;$$

für eine zweizöllige ebenso

$$k = 0,75;$$

für eine cylindrische Stange

$$k = 1,932$$

usw. Die äußersten Gränzen sind

$$k = 0,580 \text{ und } k = 26,033.$$

Stokes⁴⁾, dem wir die erste Theorie dieser Versuche, in welcher auf die Reibung der Luft Rücksicht genommen wird, verdanken, hat die Messungen Baily's, soweit es möglich war, benutzt, die Richtigkeit seiner Theorie zu prüfen. Er fand bei allen den Versuchen, welche der Rechnung zugänglich sind, eine außerordentlich große Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung, wenn er für den *Reibungsindex* der atmosphärischen Luft einen sol-

1) Derselbe Gedanke ist bereits 1704 von Derham ausgeführt worden (*Phil. Transact. Vol. 24, No. 294, p. 1785, 1705; ferner Vol. 39 No. 440, p. 201, 1736*), indem derselbe den Gang und die Schwingungsweite einer Pendeluhr in gewöhnlicher und in verdünnter Luft verglich. Ebenso untersuchte U. Jürgensen (*Det kgl. Danske Vidensk. Selskabs naturvid. og math. Afhandlinger. Tredie Deel. Kjöbenhavn, 1828*) und Harvey (*Phil. Transact. 1824, p. 372*) den Einfluß der Luft auf die Schwingungen der Unruhe von Chronometern.

2) A. a. O. S. 236.

3) A. a. O. S. 433.

4) *Cambr. Tr.* 9.

chen numerischen Werth annahm, daß dessen Quadratwurzel

$$\sqrt{\eta'} = 0,116 \text{ engl. Zoll}$$

ist. Dieser Reibungsindex η' hängt mit dem früher definirten Reibungscoëfficienten η ¹⁾ so zusammen, daß

$$\eta = \eta' \rho$$

ist, wenn ρ die Dichtigkeit der Luft bezeichnet. Führe ich für diese den von Stokes benutzten Werth ein²⁾ und setze

$$836 \cdot \rho = 1$$

und reducire zugleich das englische Maafs auf metrisches, so ergiebt sich

$$\sqrt{\eta} = 0,0102 \text{ Centimeter,}$$

und es wird der Reibungscoëfficient selbst, bezogen auf Centimeter und Zeitsecunden als Einheiten,

$$\eta = 0,000104.$$

Die zweite Methode, die aërodynamische Reduction auf den luftleeren Raum experimentell zu bestimmen, rührt von dem Urheber der Reduction, Bessel³⁾ her, und ist nachher von Schumacher⁴⁾ in fast derselben Weise benutzt worden. Das allgemeine Princip dieser Methode besteht darin, zwei oder mehr Beobachtungen, die unter verschiedenen Umständen angestellt sind, zu combiniren und daraus die Gröfse k , die bei den verschiedenen Beobachtungen mit verschiedenem Gewichte auftritt, zu berechnen. Bessel benutzte zu seiner Bestimmung die Beobachtung der Schwingungszeiten von vier Pendeln, die er erhielt, indem er zwei Kugeln von gleicher Gröfse, aber verschiedenem Gewichte an zwei Fäden verschiedener Länge aufhängte. Schumacher ersetzte die leichtere Kugel durch einen hohlen Cylinder und die schwerere durch denselben

1) Stokes gebraucht die Zeichen μ' und μ .

2) A. a. O. S. 94. Dieser Werth entspricht einer Temperatur von etwa 24° C., die mir zu hoch gegriffen erscheint. Doch kommt es darauf nicht an, da der Einfluß der Temperatur gering ist.

3) Abhandl. d. Berl. Akad. 1826, S. 37.

4) Astronomische Nachrichten. Band 40. 1855.

Cylinder mit ausgefüllter Höhlung. Auch Bessel führte einige Bestimmungen mit Hülfe dieses selben und anderer schwingenden Hohl- und Voll-Cylinder aus ¹⁾.

Von diesen Bestimmungen sind aber der mangelnden Theorie wegen die mit einem Cylinder ausgeführten zur Berechnung der Reibung der Luft nicht zu verwerthen. Die mit Kugeln angestellten Beobachtungen ergaben den Mittelwerth für das kurze und das lange Pendel

$$k = 0,9459^2)$$

und nach einer späteren Berechnung, die Bessel für zuverlässiger hielt,

$$k = 0,95569^3).$$

Stokes hat mit dem angenommenen Werthe des Reibungsindex

$$\sqrt{\eta'} = 0'',116$$

den Werth von k theoretisch berechnet und so gefunden

$$k = 0,817;$$

dieser Werth ist aber weit kleiner als der beobachtete. Stokes sucht den Grund dieser Abweichung darin, daß in der Theorie der Einfluß nicht berücksichtigt sey, den die Wand hinter der pendelnden Kugel auf diese ausgeübt habe. Ich halte das nicht für wahrscheinlich, vielmehr glaube ich im folgenden zu zeigen, daß man aus Bessel's Werth von k einen wahrscheinlicheren Werth des Reibungscoëfficienten der Luft erhält als aus Baily's Zahlen.

Bei dieser Berechnung ist zu beachten, daß Bessel's k ein approximativer Mittelwerth einer von der Schwingungszeit abhängigen Gröfse ist. Nach einer von Stokes aufgestellten Formel ⁴⁾ ist

- 1) Bestimmung des Secundenpendels für Berlin. Abb. der Berl. Akad. von 1835. Versuche über die Kraft der Erde. Ebendas. 1830.
- 2) Ueber die Länge des einfachen Secundenpendels. Abhandlungen der Berliner Akademie von 1826; S. 54.
- 3) Versuche über die Kraft der Erde. Abhandlungen der Berliner Akademie von 1830; S. 95. Astronomische Nachrichten No. 223. Band 10. Seite 105; 1832.
- 4) Gleichung (160) der cit. Abb.

$$k = \frac{k_2 t_2^2 - k_1 t_1^2}{t_2^2 - t_1^2},$$

worin t_1 und t_2 die Schwingungszeiten des kurzen und langen Pendels sind; und es bedeutet ¹⁾)

$$k_1 = \frac{1}{2} + \frac{9}{4\nu_1 a}; \quad k_2 = \frac{1}{2} + \frac{9}{4\nu_2 a};$$

$$\nu_1^2 = \frac{\pi}{2\eta' t_1}; \quad \nu_2^2 = \frac{\pi}{2\eta' t_2},$$

wo a der Radius der Pendelkugel ist. Setze ich die von Bessel beobachteten Werthe

$$k = 0,95569$$

$$a = 12,08 \text{ par. Linien}$$

$$t_1 = 1'',001$$

$$t_2 = 1'',721$$

ein, so finde ich für den Reibungsindex

$$\sqrt{\eta'} = 0'',185 = 0^{\text{cm}},470.$$

Bei der Berechnung des Reibungscoëfficienten aus dieser GröÙe bietet sich die Schwierigkeit, dafs keine bestimmte Temperatur angegeben werden kann, welche dem Werthe von k angehört, und dadurch wird der einzuführende Werth der Dichtigkeit der Luft zweifelhaft. Bei Bessel's Versuchen schwankte die Temperatur zwischen 3 und 24° C. Ich setze dieselbe im Mittel willkürlich gleich etwa 12°, und ich glaube dies unbedenklich thun zu können, weil der Einflufs der Temperatur auf das Resultat nicht bedeutend ist. So erhalte ich

$$\sqrt{\eta} = 0,0166 \text{ Centimeter,}$$

und der Reibungscoëfficient selbst wird

$$\eta = 0,000275;$$

die Reibung der Luft ist also nach Bessel's Beobachtung fast dreimal so grofs als nach der Stokes'schen Berechnung aus Baily's Messungen.

Stokes vergleicht seine Theorie ferner mit Versuchen von Dubuat²⁾), welche dadurch merkwürdig sind, dafs

1) Gleichungen (52) ders. Abb.

2) *Principes d'hydraulique etc.* 2. Aufl. 1786, 3. Aufl. 1816. 3^{ème} partie, section 2, chapitre 1.

sie lange vor Bessel zu dem klar und deutlich ausgesprochenen Schlusse leiteten, daß ein Pendel wegen des umgebenden Mediums einer doppelten Reduction bedürfe, sowohl wegen seines scheinbaren Verlustes an Gewicht, als auch wegen der anscheinenden Vermehrung seiner Trägheit. Die Versuche bewiesen dies sowohl für Schwingungen im Wasser als auch in der Luft. Sie blieben aber fast unbeachtet, bis sie durch Prof. Neumann in Königsberg der Vergessenheit entrissen wurden¹⁾.

Anderes als historisches Interesse haben aber die von Dubuat in der Luft angestellten Experimente nicht. Denn eine Berechnung der Reibung aus ihnen ist vollkommen illusorisch; sogar beruht es nur auf einem von Dubuat eingeführten fehlerhaften Werthe der Dichtigkeit der Luft, wenn man positive Werthe für die in den Beobachtungsfehlern verschwindende Reibung erhält.

Wie bei den bisher besprochenen Versuchen aus der Vergrößerung der *Schwingungszeit*, kann der Einfluß der Luft auf die Schwingungen eines Pendels auch aus der Beobachtung der Abnahme hergeleitet werden, welche die *Schwingungsbögen* in der Luft erfahren, und auch hieraus läßt sich die Reibungsconstante der Luft berechnen.

Hierbei entsteht indeß eine Schwierigkeit daraus, daß die Schwingungen nicht allein in Folge der Luftreibung abnehmen, sondern daß auch noch andere hindernde Kräfte auf den Apparat wirken. Dazu gehören erstens solche Widerstände, welche im Apparate selbst ihren Sitz haben, die Reibung der Schneiden des Pendels auf ihren Unterlagen, oder der Widerstand, den der Aufhängungsdraht seiner Biegung entgegengesetzt, und dergl. Zweitens aber wirkt auch die Luft außer durch ihre *Reibung* noch hindernd auf den Apparat durch den *Widerstand*, den sie seiner Bewegung bietet.

Beide Kräfte, Widerstand und Reibung, müssen, wenn es sich um die Berechnung der letzteren handelt, durch die Rechnung oder die Beobachtung von einander geson-

1) Bessel in den astron. Nachrichten. Band 9 No. 204. 1831.

dert werden. Diefs wird dadurch möglich, daß der Widerstand, den man in der Regel proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit anzunehmen berechtigt ist, in sehr viel rascherem Verhältniß mit der Geschwindigkeit, also auch mit der Gröfse der Schwingungsamplituden, wächst, als die Reibung. So überwiegt bei großen Schwingungsbögen der Widerstand, bei kleinen die Reibung.

Man kann daher beide durch die Rechnung auf die Weise trennen, daß man die Abnahme der Amplituden durch eine Reihe darstellt, welche nach aufsteigenden Potenzen der Amplituden selbst fortschreitet. Der Factor desjenigen Gliedes, welches die erste Potenz jener Gröfse enthält, steht in sehr einfachem Zusammenhange mit dem logarithmischen Decrement der Amplituden; und aus diesem ist die Reibungsconstante nach Formeln zu berechnen, die Stokes für mehrere einfache Formen des Pendels gegeben hat.

Diese Rechnung hat auch schon Stokes selbst versucht, indem er gelegentliche Angaben von Bessel über die Gröfse der Schwingungsbögen benutzte. Er erreichte aber nicht das gewünschte Resultat, weil der Widerstand, den die Biegung des Aufhängungsdrahtes erzeugt hatte, nicht zu eliminiren war. Aus demselben Grunde schlug ein Versuch fehl, den ich machte, Beobachtungen von Giulio¹⁾ zu diesem Zwecke zu verwerthen.

Nicht glücklichlicher war ich hinsichtlich der Beobachtungen, welche Newton²⁾ über den Widerstand, den pendelnde Kugeln in der Luft erleiden, angestellt hat. Dieselben sind von Gronau³⁾ in der soeben angegebenen Weise in Formeln gebracht worden. Doch sind die Resultate dieser Rechnung nicht zu diesem Zwecke zu verwerthen, weil wegen der Gröfse der Amplituden, die bis zu 30° jederseits gehen, der Widerstand zu sehr über den Einfluß der

1) *Memorie di Torino. Ser. 2. tomo 13. 1853.*

2) *Philosophiae nat. princ. math. Liber 2, sectio 6, prop. 31.*

3) Ueber die Bewegung schwingender Körper im widerstehenden Mittel. Dantsig 1850. 4. (Programm der Johannesschule.)

Reibung überwiegt, als daß diese mit mäßiger Genauigkeit berechnet werden könnte.

Dagegen liefern Beobachtungen, welche Girault¹⁾ in Caën angestellt hat, ein befriedigendes Resultat. Der schwingende Körper war eine Holzkugel von 0^m,1 Durchmesser und 0,342 Kilogramm Gewicht. Die Entfernung ihres Schwingungsmittelpunktes von der Drehungsaxe betrug 1^m,25. Sie war an vier Seidenfäden aufgehängt, in der Art, wie Fig. 1 Taf. II es wiedergiebt; die Fäden waren über ein Brett geschlungen, das auf zwei spitzen Schrauben ruhte, die wiederum auf Glasplatten standen. Die Amplituden wurden beobachtet, während sie von 4° 7' jederseits abnahmen bis 0° 55'; dazu waren etwas mehr als 1200 einfache Schwingungen erforderlich. Die Resultate dieser Beobachtung hat Girault durch die Interpolationsformel

$$z = A\alpha + \frac{A}{B}\alpha^2$$

dargestellt, in der z die Abnahme des Schwingungswinkels α während einer einfachen Schwingung bezeichnet; die Coëfficienten A und B haben die Werthe

$$A = 0,000707; \quad B = 0,061.$$

Die Anordnung des Apparates scheint die Annahme zu rechtfertigen, daß der größte Theil des Widerstandes und der Reibung, die der pendelnde Apparat erfährt, von der Kugel selbst herrührt, und daß das Moment der übrigen Verzögerungskräfte, welche auf das Brett, die Schrauben und die Schnur wirken, wegen der geringeren Entfernung von der Drehungsaxe sehr viel kleiner sey. Ich habe deshalb diese weiteren Kräfte ganz vernachlässigt und die Formel, die Stokes für eine pendelnde Kugel abgeleitet hat, auf die Größe A angewandt, die man als das logarithmische Decrement ansehen darf. Der theoretische Werth dieses logarithmischen Decrements ist nach Stokes

$$\lambda = \frac{\pi}{2} \frac{k' M'}{M + k M'}^2);$$

¹⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences, arts et belles lettres de Caën.*

hierin bezeichnet M die Masse der Kugel, M' die der von ihr verdrängten Luft, und k und k' haben die Werthe

$$k = \frac{1}{2} + \frac{9}{4\nu a},$$

$$k' = \frac{9}{4\nu a} \left(1 + \frac{1}{\nu a}\right)^1,$$

worin, wie früher, a der Radius der Kugel ist, während ν durch die Gleichung

$$\nu^2 = \frac{\pi}{2\eta'\tau}$$

bestimmt ist, in der η' den Reibungsindex, τ die Schwingungsdauer der Kugel ist.

Die in diesen Formeln vorkommenden Größen sind theils von Girault angegeben, theils leicht aus seinen Angaben zu berechnen. Man kann daher, indem man $\lambda = A$ setzt, νa durch Auflösen einer quadratischen Gleichung finden und hieraus den Reibungsindex η' . Für diesen erhält man in Centimetern

$$\sqrt{\eta'} = 0,545$$

und für den Reibungscoefficienten η in demselben Maasse

$$\sqrt{\eta} = 0,0196.$$

Dieser Werth ist noch größer als der aus Bessel's k abgeleitete. Man kann aber, wegen der eingeführten Vernachlässigungen, von ihm behaupten, daß er wahrscheinlich zu groß, jedenfalls nicht zu klein ist.

Eine Methode, welche vor den bisher besprochenen den Vortheil bietet, daß bei ihrer Anwendung der Reibung ein größeres Uebergewicht über den Widerstand der Luft gegeben werden kann, ist von Coulomb angegeben und zur Messung der Reibung flüssiger Medien angewandt worden²⁾. Wird eine kreisrunde Scheibe an einem in ihrem Mittelpunkt befestigten Drahte so aufgehängt, daß die Scheibe horizontal, der Draht vertical hängt, so kann die Scheibe sich um diesen Draht als Axe nach Art einer Drehwage drehen, wobei sie, da sie fortwährend in ihrer eig-

1) Formel (52).

2) *Mém. de l'Inst. national. Tome 3, p. 246. an IX.*

nen horizontalen Ebene bleibt, ihren Ort nicht verändert. Taucht man diesen Apparat in eine Flüssigkeit ein und versetzt die Scheibe durch Torsion des Drahtes in Schwingungen, so beobachtet man, daß in Folge der Reibung der Flüssigkeit die Amplituden dieser Schwingungen allmählich abnehmen, und zwar nach dem Gesetze einer geometrischen Reihe. Das logarithmische Decrement dieser Reihe kann, wie Stokes ¹⁾ und ich ²⁾ gezeigt haben, mit Vortheil benutzt werden, den Reibungscoëfficienten dieser Flüssigkeit zu bestimmen.

Ich habe diese Methode früher bei Gelegenheit einer Untersuchung über die Reibung tropfbarer Flüssigkeiten angewandt, eine angenäherte Schätzung der Reibung der atmosphärischen Luft zu erlangen. Um dies möglich zu machen, stellte ich mit mehreren Scheiben verschiedener Gröfse Beobachtungen an, so daß ich den störenden Einfluß der Reibung im Innern des Aufhängungsdrahtes eliminiren konnte. Ich erhielt auf diese Weise Werthe des Reibungscoëfficienten, welche, auf Centimeter und Zeitsecunden als Einheiten bezogen, zwischen den Zahlen

0,00027 und 0,00052

liegen, so daß also die Quadratwurzel aus dieser Gröfse, die ich oben angegeben, nach diesen Bestimmungen zwischen den Gränzen

0,016 und 0,023

enthalten ist. Diese Messungen stimmen also mit dem Resultate der Beobachtung Girault's überein, und ihre untere Gränze weicht von dem der Bessel'schen Beobachtung nicht ab, sehr beträchtlich dagegen von den Werthen, die Stokes aus Baily's Messungen abgeleitet hat.

Bei meinen neuen Bestimmungen habe ich diese Methode im wesentlichen beibehalten, nur mit einer Aenderung, welche zum Zwecke hat, das Wechseln der Scheiben und damit den Fehler zu vermeiden, der in dem verschiedenen Elasticitätszustande des Drahtes bei veränderter

1) *Cambr. Tr. Bd. 9, Thl. 2, 1851.*

2) *Journal für Mathematik Bd. 59 und Pogg. Ann. Bd. 113, 1861.*

Belastung seinen Grund hat. Statt der einen Scheibe trägt der neue Apparat deren drei von gleicher Gröfse. Von diesen dreien sind zwei auf einer verticalen Axe beweglich, so dafs sie der dritten, der sie dabei immer parallel bleiben, beliebig genähert oder von ihr entfernt werden können. Drücke ich die drei Scheiben dicht auf einander, so vereinige ich sie dadurch zu einer einzigen; um die zwischen den Flächen der Scheiben dann etwa noch befindliche Luft vollständig zu entfernen, bringe ich zwischen dieselben einige Tropfen Oel.

Der Apparat ist in einer Glasglocke aufgehängt, welche durch einen aufgelegten Deckel luftdicht verschlossen werden kann. Die Luft in derselben kann durch eine Luftpumpe beliebig verdünnt, und ihr Druck an einem Barometerrohr gemessen werden.

Diese Einrichtung des Apparats gestattet die Bestimmung des Reibungscoëfficienten der Luft und anderer Gase bei jedem beliebigen Drucke, der kleiner als der der Atmosphäre ist. Dazu sind je zwei Beobachtungen bei demselben Drucke erforderlich; und zwar hat man die Bewegung des Apparats zu beobachten, einmal, wenn die drei Scheiben desselben sich in angemessener Entfernung von einander befinden, und zweitens, nachdem dieselben auf einander gedrückt und so zu einer einzigen vereinigt worden sind. Bei beiden Beobachtungen ist der Reibung der Luft ein verschiedenes Moment ihrer Wirkung auf den Apparat geboten. Man findet daher zwei verschiedene Werthe des logarithmischen Decrements der Amplituden. Die Differenz beider Werthe kann zur Berechnung des Reibungscoëfficienten der Luft dienen.

Außerdem ist der Apparat geeignet, die Methode zu prüfen, welche Sabine und Baily zur Bestimmung der Reduction auf den leeren Raum angewandt haben. Wenn nämlich diese Methode richtig ist, so könnte man die Reibung der Luft mit meinem Apparate auch noch auf eine andere Weise bestimmen. Man beobachtete die Bewegung des oscillirenden Apparates bei vollem Atmosphärendrucke

der in der Glocke enthaltenen Luft, und man hätte diese Beobachtung zu wiederholen, nachdem die Glocke möglichst luftleer gepumpt worden ist.

Beide Aufgaben habe ich durch die Beobachtungen, die im folgenden mitgetheilt werden, zu lösen gesucht.

Möglich wäre ebenso eine Untersuchung derselben Fragen durch Messung der Aenderungen, welche die Schwingungsdauer des Apparats durch den verschiedenen Einfluss der Luft erfährt. Doch hätte es dazu eines Apparats bedurft, der vor Veränderungen weit mehr als der meinige gesichert gewesen wäre.

§. 2.

Apparat und Beobachtungsmethode.

Der zu den Beobachtungen benutzte Apparat ist aus der Werkstatt des Hrn. Dr. Meyerstein in Göttingen hervorgegangen. Die zweckmäßige Einrichtung der Theile, welche zur Herstellung des luftverdünnten Raumes dienen, ist von diesem geschickten Künstler erfunden worden.

Die Anordnung des Apparats im ganzen zeigt Fig. 2 Taf. II, in welcher derselbe in etwa zehnfach verkleinertem Maassstabe perspectivisch dargestellt ist. In dieser Zeichnung folgen von links nach rechts auf einander ein Barometer *A*, eine Luftpumpe *B*, ein mit Chlorcalcium gefülltes Röhrensystem *C* und endlich der Reibungsapparat *D* mit seinen drei Scheiben *a, a, a* im luftdicht abgeschlossenen Raume.

Dieser Apparat ruht auf einem aus Mahagoniholz angefertigten Fußgestelle *bbb*, das in Fig. 3 Taf. II von oben gesehen, besonders dargestellt ist. Es besteht aus drei, unten mit messingenen Stellschrauben versehenen Füßchen, die unten durch drei Brettchen, in der Mitte durch einen Ring *cc* verbunden sind. Oben endigen sie in Klötzchen. Auf diesen ruht durch drei andere Stellschrauben ein messingner Teller *dd*, der mehrfach durchbohrt ist, um die weiteren Theile des Apparats zu tragen. Diefs zeigt Fig. 5 Taf. II im verticalen Querschnitte.

Der Teller ist auf seiner unteren Seite geschliffen und kann daher einer Glasglocke *ee* (Fig. 2 und 5) mit ebenfalls geschliffenem Rande als luftdicht schließender Deckel dienen. Die Glocke ist auf ein rundes Mahagonibrett *f* gekittet, durch dessen Mitte ihr gläserner Knopf *g* hervorragt. Man bringt sie unter den Teller, indem man sie unten zwischen den Dreifuß schiebt und durch den Ring desselben bis unter den Teller in die Höhe hebt. Dort wird sie festgestellt durch ein von der Seite her untergeschobenes (in Fig. 4 Taf. II besonders dargestelltes) Brett *h* aus Mahagoniholz, welches mit drei hervorragenden Leisten *iii* auf dem Ringe aufliegt. Hat man auf diese Weise die Glocke unter den Teller gebracht, so lüftet man die drei Stellschrauben, auf denen dieser ruhte, so weit, bis er nicht mehr auf diesen Schrauben, sondern auf dem Rande der Glocke aufliegt, die er luftdicht verschließt, wenn deren Rand gefettet ist. Will man die Glocke wieder entfernen, so zieht man zuerst die Stellschrauben des Tellers an, bis dieser von ihr abgehoben ist, und dann zieht man das Brett unter der Glocke fort, indem man sie selbst durch den Ring des Dreifußes hindurch unten aus diesem herausnimmt.

Die über dem Teller und an demselben befestigten Theile des Apparats erläutert außer Figur 2 die in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe im verticalen Querschnitte dargestellte Fig. 5 Taf. II. Zunächst ist über einer größeren Oeffnung in der Mitte des Tellers ein cylindrisches Kästchen *k* aufgeschraubt. Dasselbe ist vorn mit einer planparallelen Glasplatte *m* versehen und dient zur Aufnahme des Spiegels *n*, durch welchen die Bewegung des oscillirenden Apparats mit den drei Scheiben *aaa* beobachtet wird. In einem cylindrischen Fortsatze des Kästchens *k* ist die Glasröhre *o* eingekittet, die an ihrem oberen Ende mit einer messingnen Fassung versehen ist. In diese ist luftdicht ein kleiner Torsionskreis *p* eingeschraubt, dessen Construction durch die Ansicht Figur 6 und den Querschnitt Fig. 7 Taf. II in halber natürlicher Größe genauer erläutert wird. In die

Fassung der Glasröhre *o* ist das Messingstückchen *q* eingeschraubt. Auf dessen oberer abgeschliffener Fläche liegt die ebenfalls abgeschliffene Platte *r* luftdicht auf; diese ist nach unten mit einem durch *q* hindurchgehenden conischen Fortsatze versehen, oben mit einem geränderten Knopfe, durch den sie auf *q* gedreht werden kann. Zur Messung der Gröfse der Drehung ist der Rand von *q* mit einer Theilung versehen, während an dem von *r* eine Marke angebracht ist; der Werth eines Scalentheils beträgt 2° .

Am unteren conischen Theile von *r* sind die beiden Haken *s* durch eine Schraube befestigt. An diese kann mittelst zweier Knöpfchen ein Messingblech *t* Fig. 8 Taf. II angehängt werden. Dasselbe trägt in seiner Mitte eine Rolle, während auf den unteren stärkeren Theil durch zwei Schrauben ein anderes Blech *u* geschraubt werden kann. Hieran hängt an einem oder an zwei Drähten ein ähnliches Paar von Blechen *t'* und *u'*, aber ohne Rolle und mit den Knöpfchen nach unten. In diese fassen zwei Haken *s'* Fig. 9 und 10 Taf. II, die an einem kreuzförmigen Bleche *v* befestigt sind, das den durch drei Schrauben gehaltenen Beobachtungsspiegel *n* trägt. Hieran hängt der oscillirende Apparat mit den Scheiben *aaa* Fig. 5.

Die Einrichtung der Bleche *t* und *u*, *t'* und *u'* erlaubt eine unifilare und eine bifilare Aufhängung des Apparates. Zu dem Ende sind in die Bleche *t* und *t'*, da wo sie von *u* und *u'* bedeckt werden, je drei feine verticale Rinnen eingefeuert.

Von diesen dient die mittlere zur Aufnahme der Enden eines einfachen Aufhängungsdrahtes, der auf diese Weise zwischen den Blechen, ohne von denselben platt gedrückt zu werden, festgeklemmt werden kann. Ich habe indess bei den hier mitgetheilten Beobachtungen immer bifilare, nicht unifilare Aufhängung angewandt. Denn einige Versuche bei unifilarer Aufhängung, deren Mittheilung ich unterdrücke, bewiesen eine solche Veränderlichkeit des Aufhängungsdrahtes, dafs einmal sogar die Schwingungen im luftverdünnten Raume rascher abnahmen, als in der Luft.

Soll der Apparat dagegen an zwei Fäden aufgehängt werden, so wird ein Draht über die an dem Bleche t befindliche Rolle gelegt und seine beiden Enden in den äußeren Rinnen des Bleches t' zwischen diesem und u' möglichst ohne Torsion festgeklemmt. Zwischen t und u aber habe ich bei bifilarer Aufhängung die beiden Drahthälften nicht fest eingeklemmt; vielmehr habe ich die Schrauben nur so weit angezogen, daß die Drähte in den Rinnen mit geringer Reibung zu verschieben waren, so daß die Spannung der Drähte sich jederseits ausgleichen konnte.

Der so aufgehängte Scheibenapparat ist durch eine Schraube an dem unteren dickeren Ende des Spiegelträgers v befestigt. Er besteht aus einer cylindrischen Axe w und den drei Scheiben a . Die Axe w ist aus zwei durch eine Schraube verbundenen Stücken zusammengesetzt, zwischen denen die mittlere der drei Scheiben, welche durch ein kleines Loch in ihrer Mitte die Schraube durchläßt, eingeklemmt ist. Die beiden anderen Scheiben sind mit Hülsen versehen, die sich auf der cylindrischen Axe bewegen lassen. Sie können auf derselben durch Schrauben, welche gegen eine längs der Axe aufgefeilte ebene Fläche drücken, festgestellt werden. Ich habe zwei Systeme solcher Scheiben zu den Beobachtungen benutzt, drei messingne von etwa 200 Millimeter Durchmesser, die in Figur 11 in $\frac{1}{2}$ ihrer natürlichen GröÙe dargestellt sind, und drei gläserne von etwa 150 Millimeter Durchmesser, die Figur 12 in gleichem Grade der Verkleinerung darstellt. Ich habe dieselben aus verschiedenem Materiale anfertigen lassen, um nachweisen zu können, daß die erhaltenen Resultate von dem gewählten Stoffe der Scheiben unabhängig sind, daß also die gefundenen Zahlenwerthe wirklich die *innere* Reibung der Luft darstellen und nicht neben derselben die *äußere* Reibung der Luft am Apparate enthalten.

Die Herstellung so großer Scheiben mit ebenen und parallelen Flächen ist, da dieselben nicht zu dick und dadurch schwer seyn dürfen, mit großen Schwierigkeiten verknüpft. Es kann daher kein Vorwurf für die Werkstatt,

in der sie entstanden sind, seyn, wenn die großen Messingscheiben nicht völlig den Wünschen entsprechen, die ich gern erfüllt gesehen hätte. Die Arbeit des gläsernen Apparates, dessen Scheiben aus dünnem Spiegelglase bestehen, und anderer Theile rechtfertigt dagegen den vorzüglichen Ruf, dessen sich jene Werkstatt allgemein erfreut.

Aufser diesen beiden Scheibenapparaten habe ich dann noch einen Hilfsapparat angewandt, der zur Bestimmung des Trägheitsmoments jener diente. Derselbe ist in verschiedenen Anordnungen in Figur 13 und 14 in $\frac{1}{2}$ seiner natürlichen GröÙe dargestellt. Er besteht aus einem ebenfalls aus zwei Stücken zusammengesetzten cylindrischen Messingstabe, der an den Spiegelhalter angeschraubt werden kann. Zwischen beiden Hälften ist eine Holzleiste eingeklemmt, durch welche ein Paar Gewichte in drei verschiedenen Entfernungen von der Axe aufgehängt werden konnten. Diese ruhten mit feinen Spitzen auf den markirten Mittelpunkten von sechs in die Leiste eingeschlagenen Messingstiften (Fig. 15).

Zu meinen Messungen an dem messingnen Scheibenapparat konnte ich durch die Güte des Hrn. Prof. Dr. Klinkerfues dieselben Gewichte (Fig. 13) von je $\frac{1}{2}$ Kilogramm. benutzen, welche bei vielen der Beobachtungen von Gauss und W. Weber¹⁾ gedient haben. Für den gläsernen Apparat wandte ich dagegen kleinere Gewichte von etwa viermal geringerer Masse mit Ringbügeln (Fig. 14) an, welche Hr. Prof. Weber die Freundlichkeit hatte, zu diesem Zwecke anfertigen zu lassen.

Die Schwingungen der beschriebenen Apparate wurden durch den Spiegel *n* beobachtet, der das Bild einer horizontal aufgestellten Scale in ein Fernrohr reflectirte. Hervorgerufen wurden die Schwingungen des im abgeschlossenen Raume hängenden Apparats durch Drehung des Tor-

1) Gauss, *Intensitas vis magn. terr.* in d. *Comm. rec. soc. Gott.* Vol. 8; Weber, über die Einrichtung magnet. Observatorien. Resultate des magnetischen Vereins aus d. J. 1836; und an mehreren andern Orten.

sionskreises p Figur 2. Dabei waren Erschütterungen des Apparates nicht zu vermeiden, durch welche derselbe nicht blofs in die gewünschte oscillirende Bewegung um seine verticale Drehungsaxe, sondern zugleich in pendelnde Bewegungen um eine horizontale Axe versetzt wurde. Diese aber mußten vor Beginn der Beobachtung beseitigt seyn. Man kann dies sehr leicht erreichen, indem man den Bewegungen des Apparates eine sehr viel gröfsere Amplitude giebt, als man beobachten will. Läßt man dann eine längere Zeit verstreichen, ehe man die Beobachtung beginnt, — ich wartete meistens etwa eine Stunde, manchmal auch länger — so sind die störenden pendelnden Bewegungen, welche sehr viel rascher abnehmen, verschwunden, und man kann die Beobachtungen bei der gewünschten Anfangsamplitude beginnen.

Bei den Beobachtungen bestimmte ich gleichzeitig die Schwingungsdauer des Apparates und das logarithmische Decrement seiner Amplituden. Zu dem Ende beobachtete ich aufser der Zeit, zu welcher der Apparat seine Gleichgewichtslage passirte, die diesem Durchgange unmittelbar vorhergehende Schwingungsweite, sowie den unmittelbar folgenden Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite; und diese dreifache Beobachtung wiederholte ich in gleichen Zeiträumen von 3 bis 17 Minuten, welche 14 bis 96 Schwingungen umfaßten, mehrere Male, je nach dem erstrebten Grade der Genauigkeit.

Aus den unmittelbar auf der geraden Scale abgelesenen Tangenten der Amplituden rechts und links habe ich dann die volle Amplitude, die Summe beider Hälften, berechnet, und die sämtlichen nach einander beobachteten Werthe wurden zur Berechnung des logarithmischen Decrements combinirt. Dazu benutzte ich theils die Methode der kleinsten Quadrate, theils ein einfacheres Verfahren. Bezeichnen $\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2 \dots \Phi_n$ die beobachteten Amplituden, so berechnete ich den Werth des logarithmischen Decrements nach der Formel

$$\varepsilon = \frac{2}{n(n+1)} \sum_{p=1}^{p=n} \log \frac{\phi_p}{\phi_r}.$$

Aus den beobachteten Durchgangszeiten berechnete ich, nachdem, wenn es nöthig schien, die Reduction auf unendlich kleine Schwingungen angebracht war, die Schwingungszeit nach der Methode der kleinsten Quadrate. Zur Zeitmessung benutzte ich drei verschiedene Uhren, deren Gang ich verglichen habe, zwei Pendeluhren, deren Benutzung Hr. Prof. Weber mir freundlichst gestattete, und ein Taschen-Chronometer, das ich der Güte des Hrn. Professor von Seebach verdanke. Bei Anwendung der Secunden-schlagenden Pendeluhren wurden die Bruchtheile einer Secunde nach der bei den Astronomen gebräuchlichen Weise¹⁾ aus dem während dieser Zeit vom Apparate durchlaufenen Wege geschätzt.

Zur Messung des Luftdrucks im Innern der Glocke war diese durch ein gebogenes Rohr y (Figur 2 und 5) mit einem in ein Quecksilber-Gefäß tauchenden Barometerrohr z verbunden, auf dem sich eine Scale verschieben liefs, welche nach Art eines Fortin'schen Barometers mit einer das Quecksilber berührenden Spitze versehen ist. Um dieses Rohr vertical zu stellen, war es an seinem oberen Ende so dünn ausgezogen, daß es dort hinlänglich biegsam war, um durch Spannung zweier Fäden in die gewünschte Lage gebracht zu werden.

Der Druck der äußeren Luft wurde an einem in einem Kasten eingeschlossenen Heberbarometer A Figur 2 abgelesen, dessen gläserne Scale nach einem von W. Weber angegebenen Principe²⁾ z. Th. mit Spiegelfolie belegt ist.

Die Temperatur des Apparates und der Umgebung gaben drei Thermometer α , β , γ , Fig. 2 und 5 an, von denen das erste α mit seiner Kugel durch den Teller in das Innere der Glocke hineinragte. Die Kugel des zweiten β

1) Gauss und Weber, Resultate etc. 1837. S. 59.

2) Pogg. Ann. Bd. 40, S. 28. 1837; Naturforscher - Versammlung in Jena 1836, S. 117.

hing nahe über dem Teller und das dritte γ an einem Beine b des Dreifußes.

In den Teller d ist endlich noch ein doppelt durchbohrter Hahn α eingeschraubt, durch den der Raum der Glocke entweder abgeschlossen, oder mit einer Luftpumpe B Figur 2, oder mit einem Systeme von Chlorcalciumröhren C , in welchem die einströmende Luft getrocknet wurde, in Verbindung gesetzt werden konnte. Ich benutzte zwei Luftpumpen des physikalischen Cabinets in Göttingen, meistens eine gute einstiefelige Hahnpumpe von Dr. Meyerstein, zuweilen aber auch eine ältere Ventilpumpe von Nairne und Blunt.

(Fortsetzung im nächsten Heft.)

II. *Untersuchungen über die geschwefelten Verbindungen des Urans; von Adolf Remelé.*

H. U r a n r o t h¹⁾.

§. 1. — Durch die Einwirkung des Schwefelammoniums auf das Uranoxysulfuret gewonnenes Uranroth.

Behandelt man eine Auflösung von salpetersaurem Uranoxyd mit überschüssigem Schwefelammonium, so bildet sich, wie in meinem vorigen Aufsatze²⁾ gezeigt wurde, ein chocoladbrauner Niederschlag von der Zusammensetzung Ur_2O_2S . Auch wurde ebendasselbst schon einer eigenthümlichen Umwandlung dieser Substanz Erwähnung gethan: verbleibt

1) In dieser zweiten Abtheilung meiner Arbeit gebe ich einen vollständigen Auszug meiner Inaugural-Dissertation: *De rubro uranico, Bero- lini*, 1864. Einzelne Punkte haben jedoch in den folgenden Zeilen eine weitere Ausführung erfahren.

2) Diese Annalen, Bd. CXXIV, S. 114 bis 162.

Poggendorff's Annal. Bd. CXXV.

nämlich das Oxysulfuret Ur_2O_2S längere Zeit in der *wässrigen* Flüssigkeit, worin die Fällung geschah, und welche durch die im Ammoniumsulfhydrat theilweise aufgelöste Verbindung schwarz gefärbt ist, so geht dasselbe allmählich in eine dunkel-blutrothe Masse von ganz merkwürdiger Beschaffenheit über. Verschiedene Chemiker, wie es scheint, auch Berzelius ¹⁾, hatten bereits die Bildung dieser rothen Substanz, die gewöhnlich in 24 oder 48 Stunden vollendet ist, beobachtet; und Rivot ²⁾ hat gefunden, daß die Farbenveränderung schneller (in weniger als 6 Stunden) erfolgt, wenn das angewandte Schwefelammonium schon zu einer früheren Fällung gedient hat, in Folge deren es undurchsichtig geworden ist.

Die rothe Masse besitzt eine im Verhältniß ziemlich große Beständigkeit und läßt sich mit reinem Wasser und durch Decantiren gut auswaschen; indessen bleibt, nachdem fast alles ammoniakalische Salz entfernt ist, ein — übrigens unbedeutender — Antheil der Masse hartnäckig in dem Wasser suspendirt, welches dadurch hellroth gefärbt wird. Nach völliger Auswaschung kann man die Substanz unter der Luftpumpe oder auch bei 100° C. trocknen; ist aber noch eine, auch nur geringe Quantität Ammoniumsulfhydrat zugegen, so verändert sie sich in Folge der Trocknung bei 100° C.: man bekommt dann einen grünlich oder gelblich gefärbten Rückstand, welcher freien Schwefel enthält. Während des Trocknens zieht sich die rothe Masse beträchtlich zusammen, so daß man selbst einige Mühe hat, dieselbe zu pulvern. Die zusammengeballten Stücke haben eine viel dunklere Farbe, besitzen einen muschligen Bruch und ihr Ansehen ist mitunter fast obsidianähnlich; durch Zerreiben im Achatmörser werden sie aber wieder heller roth. Niemals jedoch ist die Farbe des Pulvers so lebhaft und von so warmen Tone, als dieß

1) Lehrbuch der Chemie, übersetzt von F. Wöhler, vierte Aufl., Bd. III, S. 320 u. 321.

2) *Docimasie* (Originalausgabe des Handbuches der analyt. Mineralchemie), Paris bei Dunod, Bd. III, S. 167.

der Fall ist, so lange die Substanz sich noch im feuchten Zustande befindet.

Betrachtet man die trockene und gepulverte Substanz unter dem Mikroskope, so erkennt man, inmitten einer hellrothen, fein zertheilten Masse, kleine dunkelrothe Kry-
ställchen mit deutlichen Endflächen; in ganz dünnen Schichten, namentlich wenn die Masse mit Wasser befeuchtet ist, sind auch gelbliche Partien wahrnehmbar. Die Krystalle scheinen reguläre Octaëder oder Würfel mit den Modificationen des Octaëders zu seyn.

Der Uebergang in die blutroth gefärbte Substanz durch den Einfluß von überschüssigem Schwefelammonium äußert sich nur an dem *in einer wässerigen Lösung frisch gefällten, noch unzersetzten* Uranoxysulfurete. Derselbe erfolgt weder in alkoholischen Flüssigkeiten, noch beim Zusammenbringen der trocken dargestellten Verbindung mit dem genannten Reagens, noch auch wenn man nach der Fällung in einer wässerigen Auflösung das Oxysulfuret durch Erwärmen in Uranoxydul und Schwefel zerlegt hat. Auf alle diese Punkte habe ich bereits in meiner früheren Mittheilung aufmerksam gemacht (diese Ann. Bd. CXXIV, S. 143 und 144).

Zu beachten ist vor Allem, daß die rothe Substanz sich niemals bildet, daß vielmehr das Oxysulfuret im Schoofse der Flüssigkeit durchaus unverändert bleibt, wenn dasselbe in einer Auflösung von salpetersaurem Uranoxyd in Wein-
geist niedergeschlagen wurde. Da Alkohol oft ein Präservativ gegen langsame Oxydationsprocesse ist, und da er namentlich der Umwandlung des Oxysulfuretes in Uranoxydhydrat beim Filtriren wirksam entgegentritt, so sollte man meinen, auch im vorliegenden Falle handle es sich um die Verhinderung einer Oxydation, und zwar einer Oxydation von weniger durchgreifender Bedeutung. Die Intervention des atmosphärischen Sauerstoffs wäre somit eine nothwendige Bedingung für den Uebergang des Uranoxysulfuretes in den blutrothen Körper. Indessen entstand letzterer auch, als ich eine Lösung von salpetersaurem Uran in Wasser

mit Schwefelammonium fällt und den Niederschlag in einem von Luft soweit als möglich befreiten Raume mit dem Ueberschusse des Reagens in Berührung liefs. Nur schien längere Zeit hierzu erforderlich zu seyn (mehrere Tage), und ausserdem glaubte ich zu bemerken, dafs das Product eine etwas dunklere Farbe besafs, als gewöhnlich, die später bei Zutritt der Luft an Intensität gewann. Obwohl demgemäfs die Dazwischenkunft der Atmosphäre für die Bildung der blutrothen Masse nicht als unerläfslich gelten kann, so scheinen doch manche Umstände dafür zu sprechen, dafs sie den Procefs mindestens befördert und dafs oxydirte Principien im Schwefelammonium eine gewisse Rolle dabei spielen.

Wie den Lesern meiner ersten Abhandlung erinnerlich, geschieht es bei der Fällung einer wässerigen Uranoxydlösung durch Schwefelammonium bisweilen, dafs die überraschende Flüssigkeit durchsichtig bleibt und die dem Reagens eigene Farbe nicht verliert, oder sich doch nur in unbedeutendem Maafse bräunt, indem nämlich kein oder blofs wenig Uran gelöst wird. Zu den bereits namhaften Ursachen dieser Erscheinung¹⁾ füge ich noch hinzu, dafs sie auch beobachtet werden kann, wenn man in sehr verdünnten Flüssigkeiten operirt, und dafs ferner die Natur und die Menge der vorhandenen fremden Ammoniaksalze nicht ohne Einflufs darauf seyn dürften. In allen derartigen Fällen jedoch geht der Niederschlag ganz auf die gewöhnliche Weise in eine rothe Masse über.

Was die undurchsichtige, fast schwarze Auflösung von Uranoxysulfuret in überschüssigem (nicht zu schwefelreichem) Schwefelammonium betrifft, so ist dieselbe in der Kälte sehr beständig und kann äufserst lange sich selbst überlassen bleiben, ohne sich zu verändern. Nachdem sie einige Monate mit der Luft in Contact gewesen, hat sie sich aber doch geklärt; sie ist nun stark röthlich gefärbt,

1) Vergl. a. a. O., S. 120 u. 143; der fragliche Fall tritt besonders ein, wenn das Sulfhydrat zu hohe Schwefelammonium für das Ammonium ent-

und aufser freiem Schwefel hat sich eine gewisse Quantität der blutrothen Substanz ausgeschieden.

Patera¹⁾ war der Erste, welcher die vorerwähnte rothe Substanz einer genaueren Untersuchung unterwarf. Er fand in einem Producte dieser Art: 71 Proc. Uran, 2,75 Proc. Schwefel und »Spuren« von Ammoniak; zugleich bemerkt er, daß beim Behandeln mit Salzsäure alles Uran als Sesquioxid in Lösung übergehe, und folglich als solches in der Substanz selbst enthalten sey. Ich werde unten zeigen, daß diese Angabe irrig ist.

Obwohl so geringe Quantitäten Schwefel und Ammoniak gefunden wurden, glaubte Patera in der rothen Masse dennoch eine bestimmte chemische Verbindung zu erkennen. Ein Beweis, daß sie kein bloßes Gemenge seyn könne, soll nach ihm darin liegen, daß sich in derselben das Ammoniak durch andere Basen ersetzen lasse, so daß man »gleich zusammengesetzte Salze von Kalium, Natrium, Baryum und Strontium« erhalte, indem man entweder das »Ammoniumsalz« mit den Oxyden oder Chlorverbindungen dieser Stoffe koche, oder wenn man eine Uranoxydlösung mit den Schwefelverbindungen der nämlichen Körper fälle. Auf letztere Art will Patera auch das »Kalium-, Natrium- und Baryumsalz« dargestellt haben, nur sey das letztere bedeutend durch kohlen sauren Baryt verunreinigt gewesen.

Diesen Behauptungen muß ich zunächst entgegenstellen, daß die Niederschläge, welche die Sulfurete von Kalium, Natrium und Baryum in einer wässerigen Auflösung von salpetersaurem Uranoxyd hervorrufen, nach meinen zahlreichen Versuchen niemals auch nur annähernd solche Aenderungen erfahren, wie das mittelst Schwefelammoniums gefällte Uranoxysulfuret. Jene Niederschläge sind wohl sämtlich der Hauptsache nach Verbindungen des Oxysulfuretes mit den Monosulfureten der obigen Metalle (d. Annalen Bd. CXXIV, S. 158 ff.); nie aber verwandeln sie sich in eine rothe oder röthliche Masse, wenn sie längere Zeit im Ueberschusse des betreffenden Fällungsmittels verbleiben.

1) Journal f. prakt. Chemie, Bd. LI, S. 122.

Patera hat eine Kalium- und eine Baryum-haltige Substanz analysirt, welche nach seinem Dafürhalten der im Schwefelammonium gebildeten rothen Materie entsprachen. Erstere gewann er daraus durch Kochen mit Kalilauge, letztere, indem er die blutrothe Substanz mit einer Auflösung von Chlorbaryum in Wasser zum Sieden erhitzte; beide besaßen die nämliche Farbe wie die ursprüngliche, zu ihrer Darstellung verwandte Masse. Die Kalium-haltige Substanz zeigte folgende Zusammensetzung: 65,57 Proc. Uran, 10,6 Proc. Kalium, 1,44 Proc. Schwefel, 7,5 Proc. Wasser; die übrigen 14,89 Proc. wurden als Sauerstoff gerechnet, der mit dem Uran und dem Kalium verbunden sey. Aus diesen Resultaten glaubte der genannte Chemiker schließen zu dürfen, daß die Substanz ein saures uransaures Kali sey, worin ein Theil des Sauerstoffs durch Schwefel ersetzt werde, und er schrieb ihr die sonderbare Formel $\overset{'''}{\text{U}}^3\overset{'}{\text{K}} + 21(\overset{''}{\text{U}}^2\overset{'}{\text{K}} + 3\text{H})$ zu. Die Baryum-haltige Substanz enthielt: 60,85 Proc. Uran, 17,54 Proc. Baryum, 1,31 Proc. Schwefel, 6,59 Proc. Wasser und 13,71 Proc. Sauerstoff (mit dem Uran und dem Baryum verbunden).

Es genügt, einen Blick auf die für die Kalium-haltige Substanz vorgeschlagene Formel zu werfen, um sogleich zu erkennen, daß hier nicht die Rede seyn kann von einer Substitution des Ammoniums durch das Kalium. Diese Formel ist viel zu complicirt, als daß man annehmen dürfte, eine solche Verbindung könne einfach auf die Art entstehen, daß man in einer analog zusammengesetzten Ammoniumverbindung durch Kochen mit Kalilauge Kalium an die Stelle des Ammoniums setze. Zudem constatirte Patera selbst in seiner durch die Einwirkung des Ammoniumsulfhydrats auf den anfänglichen chocoladbraunen Niederschlag erhaltenen rothen Substanz nur Spuren von Ammoniak. Wie aber sollen ganz geringe Mengen des Radicals Ammonium und 10,6 Proc. Kalium, beziehungsweise 17,54 Proc. Baryum, sich gegenseitig vertreten können?

Die Sache findet eine einfache Erklärung. Es hat sich bei meiner Untersuchung herausgestellt, daß die blutrothe Substanz, welche aus der allmählichen Umwandlung des frisch gefällten Uranoxysulfures hervorgeht, in der That ein Gemenge ist, das neben einer rothen Verbindung von zweifellos bestimmter Constitution hauptsächlich Uranoxydhydrat enthält. Letzteres giebt nun beim Behandeln mit Kalilauge, Chlorbaryum usw. zur Bildung von Uranat (Uranoxyd-Kali und Uranoxyd-Baryt) Anlaß, während die eigentliche rothe Verbindung nicht angegriffen wird; diese Verbindung besitzt eine sehr große tingirende Kraft, und das entstandene Gemenge ist daher für das bloße Auge nicht wahrnehmbar. Somit begreift man, weshalb Patera's Analysen der zwei vorhin angeführten Substanzen so ansehnliche Quantitäten Kalium und Baryum ergaben.

Weil das blutrothe Umwandlungsproduct des Uranoxysulfures, um das es sich hier handelt, sehr ausgezeichnete Eigenschaften besitzt, ohne daß es mir gelang, seine chemische Zusammensetzung überzeugend darzuthun, so gestattete ich mir, für dasselbe den Namen *Uranroth* vorzuschlagen.

Verhalten des Uranrothes. — Das Uranroth kann der Temperatur von 130 oder 140° C. ausgesetzt werden, ohne eine merkbare Alteration zu erleiden. Erhitzt man es aber in einem Glaskolben auf 200 bis 250° C., so zersetzt es sich vollständig. Dabei entweicht, nebst etwas freiem Schwefel, eine ziemlich große Menge Wasser ¹⁾, und zugleich sublimirt ein weißes ammoniakalisches Salz; die Dämpfe haben ein sehr unangenehmen Geruch. Das weiße Salz besteht, wie es scheint, ganz aus *unterschwefligsaurem Ammoniak* ²⁾, wenigstens wenn die Zersetzung in

- 1) Das ausgeschiedene Wasser sammelt sich in den kälteren Theilen des Kolbens zu ordentlichen Tropfen an. Diefß geschieht gleichermassen bei dem nach meiner Methode isolirten und im Vacuum lange ausgetrockneten Uranoxysulfuret, wie ich zu Bd. CXXIV, S. 125 u. 144, nachträglich bemerken will.
- 2) Unter gleichen Umständen giebt das Uranoxysulfuret ein schwaches Sublimat von Einfach-Schwefelammonium (Bd. CXXIV dieser Annalen, S. 131).

einem zugeschmolzenen Probirkolben geschah: löst man dasselbe in Wasser, und behandelt man die Auflösung in gelinder Wärme mit verdünnter Schwefelsäure oder mit Chlorwasserstoffsäure, so entwickelt sich schweflige Säure in reichlicher Menge, und außerdem bekommt die Flüssigkeit durch freien Schwefel eine intensive milchichte Trübung; dagegen tritt hierbei kein Schwefelwasserstoff auf.

Das Uran geht beim Erhitzen schon gleich oberhalb 200° C. in schwarzgrünes Oxydoxydul über, welches in der starken Rothgluth eine etwas hellere Farbe annimmt. Bei 250 bis 300° C. hält letzteres, wenn der Luft die Circulation nicht verwehrt war, neben kleinen Mengen freien Schwefels etwas Schwefelsäure zurück, die jedoch theilweise von der Zerstörung der vorhandenen unterschwefligen Säure herrühren kann; deshalb kann der Rückstand in noch höherer Temperatur bis zu 1½ Proc. von seinem Gewichte verlieren.

Von alkalischen Flüssigkeiten wird das Uranroth, wie bereits angedeutet wurde, nicht zersetzt. Man kann es mit concentrirter *Kalilauge* längere Zeit erhitzen, ohne daß es sich dem Anscheine nach wesentlich veränderte. Natürlich entweicht dabei sämmtliches Ammoniak, und dieses ist daher offenbar kein integrireder Bestandtheil der rothen Verbindung; auch ein Theil des in der ganzen Masse enthaltenen Schwefels (den man als an Ammoniak gebunden betrachten muß) wird aufgelöst. In der resultirenden alkalischen Flüssigkeit werden durch verdünnte Schwefel- oder Salzsäure Spuren von Schwefelwasserstoff freigemacht, und; es entsteht eine Trübung durch ausgeschiedenen Schwefel eigenthümlicher Weise ist kein Entweichen von schwefliger Säure zu beobachten, sondern die beim Erwärmen nach dem Schwefelwasserstoff auftretenden Dämpfe besitzen einen etwas stechenden Geruch, der vorzugsweise an freien Schwefel erinnert.

Keine einzige andere schwefelhaltige Uranverbindung leistet den alkalischen Reagentien einen so hartnäckigen Widerstand.

Mit größter Leichtigkeit hingegen wird das Uranroth

von allen ein wenig kräftigen Säuren zerstört. Sehr verdünnte *Schwefelsäure*, *Salpetersäure* und *Chlorwasserstoffsäure* lösen das gesammte Uran rasch auf. Es entweicht dabei etwas Schwefelwasserstoff, und zwar geschieht dieß unter Aufbrausen, wenn die angewandte Säure concentrirt ist; jedoch scheidet sich im einen wie im anderen Falle der weitaus größte Theil des vorhandenen Schwefels im freien Zustande und in Form graugelber Schüppchen aus. Keine Spur von Trübung kommt zum Vorschein. Das Uranroth verhält sich also gegen Säuren gerade so, wie das Uranoxysulfuret; die Zersetzung ist eine ebenso unmittelbare.

Auch das mit Kalilauge erwärmte Uranroth giebt, nicht anders als vorher, mit Säuren Schwefelwasserstoff und freien Schwefel.

Wendet man zum Angriffe ziemlich concentrirte Chlorwasserstoffsäure bei möglichstem Luftabschlusse an, so geht das Uran, ähnlich wie beim Oxysulfuret, in eine vollkommen klare grüne Lösung über, aus welcher es durch Uebersättigen mit Ammoniak in Form eines graugrünen, bei durchfallendem Lichte bräunlich aussehenden Niederschlags gefällt wird. Dieses Verhalten, welches mit dem der Oxydhaltigen Uranoxydullösungen übereinstimmt, deutet darauf hin, daß jedenfalls ein großer Theil des Urans als Oxydul im Uranroth vorliegen muß; denn jener Niederschlag enthält eine namhafte Menge Uranoxydulhydrat, das indessen durch den Einfluß der Luft und des Ammoniaks sich rasch unter Gelbwerdung höher oxydirt.

Eine unzureichende Quantität der oben citirten Säuren hinterläßt einen dunkelrothen krystallinischen Rückstand, der mit freiem Schwefel gemengt ist. Hieraus muß man folgern, daß die blutrothe Masse aus einem leichter und einem schwerer angreifbaren Theile besteht.

Aehnliches habe ich in Folge der Einwirkung anderer Reagentien beobachtet; namentlich ist hier die des *Schwefelammoniums* in's Auge zu fassen.

Schwefelammonium afficirt in der Kälte fast gar nicht das getrocknete und gepulverte Uranroth; läßt man aber

das Reagens bei gelinder Wärme einwirken, so löst sich ein Antheil der Substanz zu einer fast schwarzen Flüssigkeit auf. Wird letztere nun zwei bis drei Wochen sich selbst überlassen, so besteht die unlösliche Partie, falls keine zu große Menge Substanz angewandt wurde, beinahe ausschließlich aus sehr deutlichen dunkelrothen und undurchsichtigen Krystallen, an denen man unter dem Mikroskope gut abgegränzte octaëdrische Flächen unterscheidet. Die Krystalle sind ziemlich schwer; beim Filtriren fallen sie sofort auf den Boden des Filtrums, während das Uranroth im gewöhnlichen Zustande sich in dünnen Schichten fest an das Papier anlegt. So lange dieselben noch unverseht sind, wirkt Schwefelammonium nicht weiter darauf ein; fein zerrieben zeigen sie wieder die hellere rothe Farbe der ursprünglichen Substanz, und leisten nun den ammoniakalischen Reagentien einen ganz ebenso geringen Widerstand, als diese selbst.

Indem ich von noch feuchtem Uranroth gleich nach seiner Bildung das überschüssige Schwefelammonium abgoss und durch neues ersetzte, und indem ich in längeren Zwischenräumen diese Operation häufig wiederholte, hoffte ich eine größere Menge der erwähnten Krystalle im reinen Zustande zu gewinnen. Allein meine Mühe war vergebens. Es zeigte sich nur, daß das feuchte Uranroth im Schwefelammonium (wenn dieses nicht zu viel Polysulfuret einschließt) in gleichem Maasse zu einer schwarzen Flüssigkeit auflöslich ist, wie das Uranoxysulfuret; obgleich aber fortwährend ein ansehnlicher Theil des Productes vom Reagens aufgenommen ward, kamen doch keine Krystalle zum Vorschein. Damit dieß möglich werde, scheint die Auswaschung und Trocknung vorangehen zu müssen.

Durch stärkeres Erwärmen mit überschüssigem Schwefelammonium wird sowohl das noch in diesem Reagens befindliche als auch das getrocknete Uranroth zerstört, und liefert dabei die nämlichen Zersetzungsproducte, wie das das unter gleichen Umständen auf 40 bis 50° C. erwärmte Uranoxysulfuret: es zerfällt nämlich in ein Gemenge von

schwarzem Uranoxydul und Schwefel. Das aufgelöste Uran schlägt sich ebenfalls als Oxydul nieder, und die undurchsichtige Flüssigkeit wird klar. Um die Zersetzung zu bewirken, muß man beim Uranroth in der Regel bis zur Kochtemperatur vorgehen; es muß selbst mehrere Stunden gekocht werden, wenn die Substanz nach ihrer Bildung lange Zeit im Sulphydrat verblieben ist, oder wenn man sie einmal trocken dargestellt hat.

Dieses Verhalten ist fast ein Beweis, daß in dem blutrothen Körper das Uran als Oxydul enthalten sey.

Uebergießt man Uranroth mit einer concentrirten Auflösung von *kohlensaurem Ammoniak*, so bekommt dasselbe augenblicklich eine dunklere Farbe, und es bleibt ein Rückstand, der wiederum größtentheils aus schwarzrothen octädrischen Krystallen besteht, daneben aber etwas freien Schwefel enthält. Die überragende Flüssigkeit färbt sich grünlich, und nach dem Ansäuern mit Chlorwasserstoffsäure oder verdünnter Schwefelsäure giebt sie bei mäßigem Erwärmen schweflige Säure frei, während gleichzeitig eine milchichte Trübung durch ausgeschiedenen Schwefel entsteht; also ging unterschweflige Säure in Lösung über. Jene Flüssigkeit enthält außerdem eine ziemlich bedeutende Quantität Uran, das nach dem Uebersättigen mit Salzsäure auf Zusatz von Ammoniak niederfällt; langsam zur Trockne abgedampft, hinterläßt sie eine glänzend gelbe krystallinische Masse. Die mit Hülfe des Ammoniakcarbonates erhaltenen dunkelrothen Krystalle werden, wie in den anderen Fällen, beim Zerreiben blutroth; und nunmehr löst sich ihre Masse in kohlensaurem Ammoniak nach Ablauf einer gewissen Zeit beinahe vollständig auf, so daß nur eine unbedeutende Quantität schmutzigrüner Substanz übrigbleibt.

Vielleicht hängt die Gewinnung der nämlichen Krystalle durch längere Digestion des trocknen Uranrothes mit Schwefelammonium mit der Aufnahme von atmosphärischer Kohlensäure durch dieses Reagens zusammen. In allen aufgeführten Fällen, wo sich diese Krystalle abscheiden, scheinen sie allerdings das reine Uranroth zu repräsentiren;

aber durch kein Mittel konnte ich sie frei von beigemengten fremden Stoffen erhalten. Durch Säuren werden dieselben stets unter den Erscheinungen, die für das Uranroth überhaupt angegeben wurden, zersetzt.

Analog dem kohlensauren Ammoniak verhält sich auch *schwefligsaures Ammoniak* gegen das Uranroth. Letzteres wird durch eine Auflösung dieses Salzes zusehends dunkler, und ein Theil des Urans geht in gelbliche Lösung über. Große Mengen des Reagens veranlassen jedoch bei hinreichend langem Warten eine völlige Zersetzung, wobei eine schwärzliche und amorphe Masse ungelöst bleibt.

Durch *Schwefelkohlenstoff* wird das Uranroth in keiner Weise angegriffen.

Befeuchtet man eine Probe Uranroth auf einer blanken Silbermünze mit Wasser, so schwärzt sich das Silber an der Berührungsstelle; wie bekannt, ist dieses Verhalten auch den unterschwefligsauren Salzen eigenthümlich.

Analyse des Uranrothes. — Für die ausführliche analytische Untersuchung benutzte ich ein mit großer Sorgfalt aus 200 Grm. reinen salpetersauren Uranoxyds gewonnenes Uranroth. Nachdem das mittelst Schwefelammoniums gefällte Oxydsulfuret durch mehrtägige Einwirkung eines sehr großen Uebermaßes des Fällungsmittels vollkommen in eine intensiv blutroth gefärbte Masse übergegangen war, wurde letztere länger als einen Monat durch Decantationen ausgewaschen, anfangs mit kaltem, später mit heißem Wasser. Die rothe Substanz wurde sodann bei mäßiger Sandbadhitze getrocknet, und im Achatmörser fein zerrieben; endlich liefs ich die für die Analysen bestimmte Partie des Pulvers noch eine Zeitlang im Vacuum über Schwefelsäure stehen.

Das Uranroth enthält, gleichwie das Uranoxysulfuret: Uran, Schwefel, Ammoniak, Wasser und Sauerstoff, der mit dem Uran verbunden ist.

Was die Art und Weise betrifft, wie die Bestimmungen des Urans, Schwefels und Ammoniaks ausgeführt wurden, so würde ich die beim Uranoxysulfuret gemachten

Mittheilungen nur wiederholen, wenn ich etwas Näheres darüber sagen wollte; ich beschränke mich wegen dieser Punkte auf die einfache Aufzählung der Ergebnisse, und werde bloß auf die Ermittlung des Wassers und des direct verbundenen Sauerstoffs specieller eingehen.

A. Bestimmung des Urans. — 2,645 Grm. Substanz hinterliessen bei allmählicher Calcination bis zur starken Rothgluth 2,2 Grm. Uranoxydoxydul, macht 70,7 Proc. Uran.

2,151 Grm. Substanz lieferten unter den nämlichen Umständen

1,805 Grm. Oxydoxydul = 71,32 Proc. Uran.

0,738 Grm. Substanz gaben 0,62 Grm. Oxydoxydul = 71,4 Proc. Uran.

Hr. Rivot erhielt, ebenfalls durch Glühen in einem Tiegel, 83,5 Proc. Uranoxydoxydul = 70,975 Proc. Uran.

Diese vier Bestimmungen ergeben im Mittel 71,1 Proc. Uran.

B. Bestimmung des Schwefels. — 1,787 Grm. Substanz gaben, nach der Oxydation durch Chlor und Kalilauge, 0,62 Grm. schwefelsauren Baryts, oder 4,76 Proc. Schwefel.

1,593 Grm. Substanz wurden mit kochendem Königswasser angegriffen. Es blieb ein Schwefelkugélchen von 0,018 Grm. Gewicht; die Lösung gab 0,379 Grm. schwefelsauren Baryts. Macht zusammen 0,07 Grm. oder 4,394 Proc. Schwefel.

Hr. Rivot fand in der nämlichen Substanz, durch Anwendung von Chlor und Kalilauge, 4,3 Proc. Schwefel.

Mittel aus den gefundenen drei Zahlen: 4,485 Proc. Schwefel.

Das Verhältniß zwischen den als Schwefelwasserstoff und im freien Zustande durch nicht oxydirende Säuren abgeschiedenen Quantitäten Schwefel zeigte sich sehr schwankend. Hr. Rivot bekam einmal durch Behandeln mit verdünnter Salzsäure, Einleiten der Gase in eine ammoniakalische Kupferchloridlösung, Oxydation des Schwefelkupfers durch Königswasser und Wägung der Schwefelsäure in

Form von Barytsulfat 1,2 Proc. Schwefel, der sich als Schwefelwasserstoff entwickelt hatte. Ein anderes Mal jedoch resultirte eine so geringe Menge Schwefelkupfer, daß deren Oxydation nicht unternommen werden konnte.

Bei der Ermittlung des Ammoniaks (s. unter C.) fand ich selbst (durch Ansammeln in einem gewogenen Filter und Trocknen bei 90° C.), daß aus 5,52 Grm. Substanz durch Chlorwasserstoffsäure 0,178 Grm. = 3,23 Proc. Schwefel im festen Zustande freigemacht wurden. Hiernach zu urtheilen, waren $4,485 - 3,23 = 1,255$ Proc. Schwefel in Gasform entwichen; allein diese Abschätzung ist zweifelhaft, weil sich schon bei ganz gelindem Erwärmen der sauren Flüssigkeit etwas freier Schwefel verflüchtigt (vergl. d. vor. Abh., Bd. CXXIV, S. 136 und 137). Da übrigens im Kolben unterschwefligsaures Ammoniak aus dem Uranroth sublimirt, so ist es wahrscheinlich, daß ein kleiner Theil des Schwefels beim Hinzufügen einer nicht oxydierenden Säure nicht als Schwefelwasserstoff, sondern in Gestalt von schwefliger Säure davongeht. Je nach den herbeigeführten Bedingungen scheint auch die Schwefelwasserstoffentwicklung sehr verschieden stark zu seyn.

C. Bestimmung des Ammoniaks. — In einem Probirkolben wurden 5,52 Grm. Substanz mit ziemlich concentrirter Chlorwasserstoffsäure behandelt. Nach der Verjagung des Schwefelwasserstoffs durch sehr mäßige Wärme wurde der freie Schwefel abfiltrirt und mit möglichst wenig Wasser ausgewaschen. Die Filtration ließ sich äußerst leicht bewerkstelligen; denn der freie Schwefel bildet, wie auch beim Uranoxysulfuret, ziemlich große Flocken oder Täfelchen von grünlichgelber Farbe, und die darüberstehende Flüssigkeit ist durchaus klar.

Im Filtrate nun wurde das Ammoniak durch mehrtägige Einwirkung eines bedeutenden Ueberschusses von Platinchlorid und Alkohol gefällt. Gewicht des mit Alkohol ausgesüßten und bei 100° C. getrockneten Platinsalmiaks = 0,897 Grm., macht 1,9 Proc. Ammoniumoxyd (NH_4O).

Filtrirflasche erhitzte ich

darauf in einem Tiegel sehr langsam fortschreitend über die dunkle Rothgluth hinaus; es hinterblieben 0,406 Grm. metallisches Platin, welchem Gewichte 1,936 Proc. Ammoniumoxyd entsprechen. Letztere Zahl habe ich, als die sicherste, adoptirt.

D. Ermittlung des Oxydationszustandes des Urans. — In ähnlicher Weise wie beim Uranoxysulfuret, darf schon aus den Reactionen des Uranrothes der Schluss gezogen werden, daß in demselben das Uran nicht direct mit Schwefel, sondern zunächst mit Sauerstoff verbunden ist. Nach dem früher (S. 215 und 216) Mitgetheilten verhält sich die rothe Substanz in der Hitze, abgesehen von der Natur des sublimirenden Ammoniaksalzes, genau wie das Oxysulfuret: wird sie in einem zugeschmolzenen Probirkolben der Temperatur von 240 oder 250° C. ausgesetzt, so geht alles Uran rasch in Oxydoxydul über, trotz der geringen Menge anwesenden Sauerstoffs. Hierdurch war es möglich, den bei dieser Umwandlung absorbirten Sauerstoff durch directe Wägung nach einer Methode zu finden, welche ich in allgemeinen Zügen bereits in meinem ersten Aufsätze auseinandergesetzt habe. Für den Fall nämlich, daß eine solche Absorption wirklich stattfindet, tritt an die Stelle der sauerstoffärmer gewordenen Luft im Inneren des Kolbens, wenn man letzteren öffnet, atmosphärische Luft von normaler Zusammensetzung; und es handelt sich nur darum, die Gewichtsveränderung zu ermitteln, welche dieser Austausch zur Folge hat. Der Unterschied entspricht dem aufgenommenen Sauerstoff, und das Resultat wird gleichzeitig angeben, ob und in welchem Oxydationszustande das Uran vorliegt.

Bevor ich zu den betreffenden Experimenten schritt, wollte ich mir völlige Gewissheit darüber verschaffen, daß bei 250° C. in einem geschlossenen Gefäße wirklich Uranoxydoxydul als alleiniges fixes Zersetzungsproduct resultirt. Es war nicht schwer, die Richtigkeit dieser Thatsache zu erkennen. Erhitzt man etwa 1 Grm. Uranroth in einem

zugeschmolzenen Probirkolben ¹⁾ kurze Zeit auf die angegebene Temperatur, so ist der feuerbeständige Rückstand von schwarzgrüner Farbe und zeigt gegen nicht oxydirende Säuren ganz das Verhalten des Oxydoxyduls: behandelt man ihn mit concentrirter Salzsäure in gelinder Wärme, so löst sich zunächst nur ein Theil der Masse zu einer grünen Lösung auf, indem vorübergehend eine schwarzbraune, schwerer angreifbare Substanz bleibt, die größtentheils Uranoxydul enthält. Auch giebt die saure Auflösung mit Ammoniak einen graugrünen Niederschlag.

Von dem ammoniakalischen Salz und dem zur eigentlichen rothen Verbindung gehörigen Schwefel kann im geschlossenen Kolben kein Sauerstoff angezogen werden: sowohl jenes Salz als der freiwerdende Schwefel sublimirt weit unterhalb 250° C. Zudem habe ich beim Erhitzen des Kolbens weder ein Verbrennen von Schwefel noch ein Entstehen von schwefelsaurem Ammoniak auf dem Boden des Gefäßes jemals wahrgenommen, abgesehen davon, daß bei allen meinen Versuchen der disponible Sauerstoff dazu unmöglich ausreichen konnte. Im Anfange der Calcination

- 1) Ich bediente mich der Probirkolben aus starkem Glase, welche in der Pariser Münze in Gebrauch stehen. Dieselben sind mit dem Halse etwa 25 Centimeter lang; der längliche Bauch hat 6 Cm. Höhe und $3\frac{1}{2}$ Cm. inneren Durchmesser; der Hals hat einen inneren Durchmesser von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Cm.

Um die nöthige Temperatur zu erzeugen, wandte ich mit großem Vortheile — niemals sprang ein Kolben — ein *Wachsbad* an, das über einer Gaslampe mit mehreren Mündungen und doppeltem Luftzuge erhitzt wurde; sehr leicht lassen sich mittelst dieser Vorrichtung constante Temperaturen zwischen 200 und 300° C. hervorbringen. Es genügt, den Bauch des Probirkolbens, worin sich das Uranroth ($\frac{1}{2}$ bis stark 1 Grm.) befindet, ungefähr 10 Minuten lang der durch allmähliche Steigerung herbeigeführten Temperatur von 250° C. auszusetzen; für das Uranoxysulfuret sind selbst 240° C. während 5 bis 10 Minuten vollkommen ausreichend. Nach beendigter Zersetzung läßt man den Kolben im Wachsbade langsam bis wenig unter 100° C. erkalten, nimmt ihn sodann heraus und wischt das anklebende Wachs rasch mit einem Bogen Filtrirpapier ab; dies gelingt äußerst leicht, so lange das Glas noch heiß ist.

unter der Muffel bildet sich dagegen immer eine gewisse Quantität schwerflüchtiges Ammoniaksulfat.

Das bei 250° C. gewonnene Zersetzungsproduct erleidet in starker Rothglühhitze meistens nur eine unerhebliche Gewichtsveränderung; was von neuem bestätigt, daß es Uranoxydoxydul ist. Indessen findet doch ein geringer Gewichtsverlust statt, mag man das schwächere Erhitzen in einem zugeschmolzenen Kolben oder in einem offenen Tiegel bei eingeschränktem Luftzutritt vorgenommen haben. Man müßte eher das Gegentheil erwarten, wenn im Uranroth Schwefel und Uran direct miteinander verbunden wären, und von einer Verminderung der an das Uran gebundenen Sauerstoffmenge kann überhaupt keine Rede seyn; die Einbuße hat ihren Grund in dem Entweichen von kleinen Resten freien Schwefels sowie von etwas Schwefelsäure, welche durch das Uran zurückgehalten wurde (S. 216). Es kann diese qualitativ nachgewiesene Schwefelsäure für den Fall eines zugeschmolzenen Probirkolbens nur aus den Elementen der vorhandenen unterschwefligen Säure hervorgehen, und ihre Bildung ist daher ohne Einfluß auf den hier verfolgten Zweck; beim Uranoxysulfurete, wo das anhaftende ammoniakalische Salz nur aus Einfach-Schwefelammonium besteht, bekommt man in geschlossenen Gefäßen schwefelsäurefreies Oxydoxydul von beinahe constantem Gewicht ¹⁾ (vergl. Bd. CXXIV, S. 131).

- 1) Wenn das Oxysulfuret in einem geöffneten Tiegel an der Luft erhitzt wird, so ist das entstandene Oxydoxydul bei 250° C. etwas schwefelsäurehaltig; allein selbst dann giebt letzteres, wie ich fand, durch heftiges Glühen im Maximum bloß noch 0,8 Proc. von seinem Gewichte ab (obchon die völlige Verflüchtigung des freien Schwefels weniger leicht seyn dürfte).

Diese Differenz stellte sich beim Uranroth im Allgemeinen etwas größer heraus. Einmal sogar verlor in der Temperatur von 250° C. von der rothen Substanz zurückgelassenes Oxydoxydul 1,61 Proc., ein anderes Mal 1,58 Proc. von seinem Gewichte durch Calcination bis zur intensiven Rothglüh. Im ersteren Falle war zunächst in einem zugeschmolzenen Probirkolben erhitzt worden (wobei es auch unvermeidlich war, daß eine kleine Partie der Dämpfe in den fixen Rückstand zurückgelangte); im zweiten Falle wurde die Operation an einer größe-

Nach dem Vorstehenden darf ohne beachtenswerthen Irrthum vorausgesetzt werden, daß während der Zerstörung des Uranroths im geschlossenen Kolben nur das in Oxydoxydul übergehende Uran Sauerstoff bindet. Die Bestimmung des absorbirten Sauerstoffs geschah nun in der früher (a. a. O., S. 130) bezeichneten Weise:

Eine geeignete Quantität Uranroth wurde in einen gut ausgetrockneten Probirkolben gebracht, die Oeffnung des letzteren über der Gebläselampe zugeschmolzen und sein unterer Theil mit der Substanz sodann 10 oder 15 Minuten im Wachsbade bei der Temperatur von 250° C. erhalten. Der wieder erkaltete Kolben wurde sammt einer auf dessen Spitze genau passenden Hülse von nicht vulcanisirtem Kautschuck mit größter Sorgfalt tarirt; darauf brach ich die Spitze mittelst einer sehr scharfen Feile ab, wobei ich jeden Verlust von Glasstäubchen möglichst zu vermeiden suchte; im Augenblicke der Oeffnung entstand jedesmal ein deutlicher Knall, was auch hier eine vorangegangene Absorption von Sauerstoff anzeigte. Nachdem ich hiernach die Kautschuckhülse ohne Verzug über das geöffnete Ende geschoben hatte, wurde der Probirkolben nebst der abgebrochenen Spitze zum zweiten Male auf die Waage gebracht; stets zeigte sich eine ziemlich ansehnliche Gewichtszunahme, welche dem aufgenommenen und dann von außen her ersetzten Sauerstoff entsprach, und deren Größe ich bestimmte.

Die zu den zwei ersten Versuchen benutzten Probirkolben faßten nach der Schließung wenig mehr als 100 Grm. destillirten Wassers; demnach enthielt das nämliche Volumen 0,13 Grm. atmosphärische Luft und 23,1 Proc. hiervon = 0,03 Grm. Sauerstoff. Der drinnen befindliche Sauerstoff würde also ausgereicht haben, um 0,765 Grm. Uranoxydul oder das in 0,95 Grm. Uranroth vorhandene

Quantität Uranroth von vorne herein in einem Tiegel ausgeführt, jedoch inmitten einer wenig oxydirenden Atmosphäre (trotzdem enthielt aber der Rückstand bei 250° C. einzelne Körnchen von schwefelsaurem Ammoniak).

Sicher ist es, daß nur *schwache Spuren* Schwefelsäure gebildet

Uran, falls dieses gänzlich als Oxydul vorliegen sollte, in die Verbindung Ur_3O_4 zu verwandeln; es ist jedoch *a priori* die Annahme gestattet, daß sich etwas Sesquioxid in der rothen Substanz vorfindet.

1) 0,627 Grm. Substanz gaben nach vollbrachter Zersetzung einen dem aufgenommenen Sauerstoff beizulegenden Gewichtszuwachs von 0,014 Grm., macht 2,23 Proc. absorbirten Sauerstoffs.

2) 0,9645 Grm. Substanz gaben unter denselben Umständen 0,022 Grm. = 2,281 Proc. absorbirten Sauerstoffs. Dieses Resultat dürfte schon beweisen, daß im Ganzen mehr Sauerstoff mit dem Uran verbunden ist, als um Oxydul zu bilden; denn das angeführte Maximum von 0,95 Grm. war überschritten worden.

3) Um endlich einigermaßen zu constatiren, bis zu welchem Punkte das Mengenverhältniß des muthmaßlich anwesenden Uransesquioxides im Uranroth vorschreitet, nahm ich vom letzteren eine das (für die Annahme des Oxyduls) berechnete Maximum ansehnlich übersteigende Quantität. Auch war der Probirkolben hier ausnahmsweise etwas größer. Er faßte ungefähr 110 Grm. reinen Wassers, folglich 0,142 Grm. atmosphärische Luft und 0,0328 Grm. Sauerstoff, d. h. der eingeschlossene Sauerstoff war gerade im Stande, das Uran von 0,8364 Grm. Uranoxydul oder von 1,04 Grm. Uranroth, falls in diesem bloß Oxydul enthalten seyn sollte, in Oxydoxydul überzuführen; die zur Operation verwandte Substanz dagegen wog 1,4835 Grm. Nichtsdestoweniger kam ich fast genau zu dem nämlichen Resultate, wie in den beiden vorhergehenden Fällen: ich fand das Gewicht des aufgenommenen Sauerstoffs = 0,0315 Grm., macht 2,124 Proc. Offenbar durfte über die Gewichtsmenge

werden, wenn man in geschlossenen Kolben Uranroth zersetzt. Daß der auf gleiche Art beim Uranoxysulfuret erhaltene Rückstand in der Glühhitze eine etwas geringere Gewichtsabnahme erfuhr, konnte darin seinen Grund haben, daß diese Substanz mehr Sauerstoff an sich ziehen muß, um in Oxydoxydul überzugehen, und somit etwas längere Zeit hierzu gebraucht.

von 1,4835 Grm. kaum mehr hinausgegangen werden, weil fast aller Sauerstoff verbraucht wurde.

Die erhaltenen, einander sehr naheliegenden Zahlen ergeben für den absorbirten Sauerstoff im Mittel 2,218 Proc. Da nun auf den Urangehalt des Uranrothes, 71,1 Proc., der genauen Rechnung zufolge 12,64 Proc. Sauerstoff kommen, um Oxydoxydul (Ur_2O_3) zu bilden, so braucht man von letzterer Zahl die 2,218 Proc. blofs abzuziehen, um den *präexistirenden, mit dem Uran wirklich verbundenen Sauerstoff* zu finden. Die Menge dieses Sauerstoffs beträgt also 10,422 Proc.¹⁾

- 1) Es ist hier noch ein Moment zu berücksichtigen, welches ich beim Uranoxysulfuret, von anderen Arbeiten gedrängt, leider zu erwähnen vergessen habe.

Triftige Gründe haben mich allerdings zu der Ueberzeugung gebracht (vergl. Bd. CXXIV, S. 125 ff.), dafs bei der Calcination von Uranverbindungen mit flüchtigen Nebenbestandtheilen als schließliches Product durchweg das der Formel $\text{UrO} \cdot \text{Ur}_2\text{O}_3 = \text{Ur}_3\text{O}_4$ entsprechende Oxydoxydul hinterbleibt. Nichtsdestoweniger werden die Anhänger von Péligot's Ansicht, wonach in geringerer Hitze die Verbindung $2\text{UrO} \cdot \text{Ur}_2\text{O}_3 = \text{Ur}_4\text{O}_5$ entstehen soll, mir vielleicht mit Recht den Einwand machen, dafs bei meinen Versuchen in zugeschmolzenen Probirkolben die Oxydationsstufe Ur_3O_4 doch nicht mit voller Sicherheit erreicht wurde. Es ist wahr, dafs aus dem Uranroth und dem Oxysulfuret in diesen Fällen fast schwarzes Oxydoxydul hervorgeht, welches in der Nähe der dunklen Rothgluth eine, verschiedene Partien von abwechselndem Farbenton nebeneinander zeigende Masse liefert, und erst bei starkem Glühen eine gleichmäfsige, dunkel-olivengrüne Farbe annimmt. Weil nun im Uranoxysulfuret alles, im Uranroth, wie wir gleich sehen werden, weitaus das meiste Uran als Oxydul vorliegt, so mufs die höhere Oxydation zu Ur_3O_4 , namentlich bei nicht zu kleinen Gewichtsmengen Substanz, allmählich vor sich gehen; und ich möchte es nicht geradezu für unmöglich erklären, dafs sie bei der verhältnifsmäfsig niedrigen Hitze und der spärlichen Quantität Sauerstoff, die im Probirkolben in Wirkung treten, von dieser Gränze ein wenig entfernt bleibt. Als Folge hiervon müfste je nach der gefundenen Menge absorbirten Sauerstoffs die des präexistirenden Sauerstoffs etwas kleiner genommen werden. In meinem ersten Aufsatz (S. 134) werden auch noch zwei andere Fehlerquellen erwähnt, die auf ein etwas zu hohes Endresultat hinarbeiten.

Was speciell das *Uranoxysulfuret* betrifft, so war die Menge des im Kolben aufgenommenen Sauerstoffs zu 2,18 Proc. vom Gewichte der ursprünglichen Substanz bestimmt worden (a. a. O., S. 129—132), so

Unbestreitbar ist Folgendes: 1) das Uran ist im oxydirtten Zustande im Uranroth vorhanden (denn wäre dies nicht der Fall, so hätten 0,03-Grm. Sauerstoff nur 0,239 Grm. der rothen Substanz, d. h. 0,17 Grm. Uranmetall, in Oxyd-oxydul überführen können); 2) die Gesamtmenge des mit dem Uran verbundenen Sauerstoffs liegt zwischen den Formeln UrO und Ur_2O_3 .

E. Annähernde Ermittlung des Wassers. — Die Quantität des Wassers festzustellen, war die schwierigste Aufgabe der ganzen Analyse, weil das Uranroth nicht bloß Schwefel und Ammoniak, zwei flüchtige Substanzen, enthält,

dafs sich, in der Voraussetzung, dafs die Verbindung Ur_2O_3 entstanden war, folgendes Verhältnifs auf Grund der Formel Ur_2O_3 herausstellte (ebendas., S. 134):

	Berechnet	Gefunden
Uran	63,3	63,3
Sauerstoff	8,44	8,96.

Nehmen wir nun einmal an, bei der betreffenden Operation (Zersetzen von 1,146 Grm. Oxydsulfuret bei 240°C . in einem zugeschmolzenen Probirkolben) habe sich nicht Ur_2O_3 , sondern die Zwischenstufe Ur_4O_7 gebildet. 63,3 Theile Uran erfordern 10,55 Theile Sauerstoff, um die Verbindung Ur_4O_7 zu bilden; der präexistirende Sauerstoff ergibt sich hiernach zu $10,55 - 2,18 = 8,37 \text{ Proc.}$, und wir haben dann also:

	Berechnet	Gefunden
Uran	63,3	63,3
Sauerstoff	8,44	8,37.

Man sieht, dafs die Formel Ur_2O_3 noch entschiedener bestätigt wird, wenn man die Oxydation im geschlossenen Probirkolben für nicht ganz vollständig halten will, so dafs sie etwa zwischen Ur_4O_7 und Ur_2O_3 innehalte.

Bei einem Versuche gab nun zwar das Oxydsulfuret im geschlossenen Kolben ebenso viel Uranoxydoxydul, wie bei den Glühungen im Tiegel, so dafs ich mich berechtigt glaubte, das Resultat unter die Uranbestimmungen aufzunehmen (a. a. O., S. 127); allein dieses Mal war unter geeigneten Vorkehrungen und stärker, als gewöhnlich, über einer Lampe erhitzt worden; selbst der geöffnete Kolben wurde noch soweit erhitzt, dafs alles Wasser davonging und kein freier Schwefel auf dem Boden zurückbleiben konnte. Die angewandte Quantität Substanz wog zudem bloß 0,479 Grm., während die Ermittlung des Oxydationszustandes an 1,146 Grm. Substanz war ausgeführt worden.

Um die angeregten Fragen endgültig zu entscheiden, müßte man abwechselnde Mengen Uranoxydul, oder besser noch Oxydulhydrat, unter

sondern auch beim Glühen an der Luft seinen fixen Bestandtheil in einen anderen Oxydationszustand übergehen läßt. Zunächst suchte ich die Substanz in einer Kugelhöhle, durch welche bei mäßig hoher Temperatur ein Strom trocknen Sauerstoffs geleitet wurde, vollends zu oxydiren und die flüchtigen Oxydationsproducte, zugleich mit dem ausgetriebenen Wasser, in einem Kalilauge enthaltenden Liebig'schen Kugelapparate und einer darauf folgenden, mit geschmolzenem Chlorcalcium gefüllten Glasröhre zu absorbiren. Meine Absicht war, die entstandene Schwefelsäure in der Kalilauge zu bestimmen und sammt dem dem Ammoniak entsprechenden Wasser von der ganzen Gewichtszunahme des Kugelapparates und der Chlorcalciumröhre abzuziehen, um so aus dem Unterschiede die Menge des wirklich vorhandenen Wassers zu finden. Allein diese Operation mißlang vollständig, weil Wasser wie Ammoniaksalz bei viel zu niedriger Hitze davongingen und zudem eine partielle Bildung von schwefelsaurem Ammoniak in der Glaskugel erfolgte. Ich verfuhr sodann mehrmals auf folgende Weise:

Ein bekanntes Gewicht Uranroth wurde in einem zugeschmolzenen Probirkolben bei ungefähr 250° C. zersetzt, nach dem Erkalten das Wasser mittelst einer Weingeistflamme aus der Spitze verdrängt, letztere behutsam abgefeilt und unmittelbar darauf eine gehörig ausgetrocknete Filtrirpapier-Kapsel fest auf die Oeffnung gebunden. Nun schob ich den Kolben umgekehrt, so daß er mit dem weiteren Ende aufruhte, in den hinreichend langen Hals eines bis zur Hälfte des Bauches mit englischer Schwefelsäure gefüllten Kochfläschens, das vorher nebst dem zugehörigen Kautschuckstöpsel genau tarirt worden war; das Ganze wurde unter die Glocke der Luftpumpe gebracht und fast eine Woche im luftleeren Raume gelassen. Nach Ablauf dieser Zeit wurde das wieder zugestopfte Kochfläschchen

den von mir angegebenen Bedingungen in einem Probirkolben zersetzen, und dann zusehen, ob der fixe Rückstand durch stärkeres Erhitzen sein

von neuem gewogen¹⁾, und die Gewichtvergrößerung dem Wasser zugeschrieben. Leider erwies sich hierbei die Schwefelsäure als ein unzureichendes Trocknungsmittel, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil beim Umdrehen des Kolbens das meiste Uranoxydoxydul auf den Boden der Papierkapsel fiel und eine gewisse Quantität Wasser sehr energisch in seinen Poren zurückhielt. Die erhaltenen Resultate wichen denn auch sehr von einander ab, indem bei drei Operationen 1) 8,655, 2) 5,73, 3) 7,2 Proc. Wasser gefunden wurden.

Nach allen diesen fehlgeschlagenen Versuchen nahm ich zu folgendem etwas modificirten Verfahren meine Zuflucht:

Es wurde eine abgewogene Menge der rothen Substanz, wiederum durch Erhitzen auf 250° C., in einem Probirkolben zersetzt, dessen am oberen Ende enger Hals mit einem recht dichten und trockenen Korkstopfen²⁾ versehen war, so daß keine Dämpfe austreten konnten. Nach völliger Abkühlung wurde der Stopfen einen Augenblick gelüftet, um frische Luft in das Gefäß einzulassen, und hierauf der Kolben, den ich von vorne herein, um ein Zurückfließen des Wassers in den Bauch zu verhüten, möglichst in horizontaler Lage gehalten hatte, aufs genaueste tarirt. Jetzt nahm ich den Stopfen ab und trocknete das Innere des Probirkolbens behutsam bei ganz gelinder Sandbadwärme (25 bis 30° C.) und unter Durchleitung eines trockenen

- 1) Ich bemerke, daß ich bei jeder Wägung, um Irrthümern zu vermeiden, als Tara ein gleiches Kochfläschchen benutzte, das ebenfalls zur Hälfte mit Schwefelsäure angefüllt und mit einem Kautschuckstöpsel verschlossen war. Die Quantität der Schwefelsäure wurde so eingerichtet, daß das Tarafläschchen dem zum eigentlichen Versuche dienenden Kochfläschchen an Gewicht nahezu gleichkam, d. h. höchstens ein um 1 Centigr. kleineres Gewicht besaß; für die Zwischenzeit bis zur zweiten Wägung stellte ich auch das Tarafläschchen in einen luftverdünnten Raum. Zahlreiche Probeversuche überzeugten mich, daß zwei auf solche Art gegeneinander tarirten Schwefelsäurefläschchen, wenn man sie zugestopft in demselben Medium stehen läßt, ihr Gewichtsverhältniß nicht im Geringssten verändern.
- 2) Es darf wohl gesagt werden, daß die französischen Korkstopfen ganz vorzüglich sind, und daß diejenigen, welche man gewöhnlich in unse-

Luftstromes, so daß von dem sublimirten Ammoniaksalz sich nichts verflüchtigte; auch den Korkstopfen ließ ich eine Zeitlang im Sandbade liegen. Der mit seinem Stopfen versehene Kolben wurde dann ein zweites Mal gewogen, und der constatirte Gewichtsverlust als Ausdruck des Wassers angesehen. So gaben:

1) 0,627 Grm. Substanz eine dem Wasser entsprechende Gewichtsabnahme von 0,062 Grm., macht 9,89 Proc. Wasser; 2) 0,477 Grm. Substanz 0,046 Grm. = 9,64 Proc. Wasser.

Diese Zahlen passen ziemlich gut zu den Gesammtergebnissen der Analysen; das Mittel ist 9,765 Proc. Wasser¹⁾.

Discussion der Resultate. — Vereinigen wir die Ergebnisse aller Analysen, so kommt für das untersuchte Uranroth folgende procentische Zusammensetzung heraus:

Uran	71,100
Mit dem Uran verb. Sauerstoff	10,422
Schwefel	4,485
Ammoniumoxyd	1,936
Wasser	9,765
	<hr/>
	97,708
Rest	2,292
	<hr/>
	100,000.

ren Laboratorien zu Gesicht bekommt, mit den ersteren gar keinen Vergleich aushalten können.

- 1) Die Uebereinstimmung und wahrscheinliche Genauigkeit der beiden angeführten Resultate ist wohl, nächst der ausnehmenden Sorgfalt, die ich anwandte, dem Obwalten besonders glücklicher Umstände zu verdanken. Beim Uranoxysulfuret lieferte die Methode in zwei Experimenten (das Eine Mal wurde freilich ein Schwefelsäure enthaltendes Kochfläschchen zur Austrocknung benutzt) ein unbrauchbares Resultat; allein dort gab ich mir weniger Mühe, und ich wollte weiter keine Zeit opfern, um zum Ueberflusse und auf jeden Preis eine Bestimmung des Wassers zu Wege zu bringen. Wenn geeignete Vorsichtsmaßregeln ergriffen werden, glaube ich immerhin, daß mit Hülfe der zuletzt beschriebenen, gleichsam rudimentären Verfahrungsweise in Fäßen, welche dem vorliegenden ähnlich sind, eine Approximation für die Quantität des Wassers erzielt werden kann. Für die directe Ermittlung des Wassers in solchen Verbindungen, die noch weitere flüchtige Substanzen, wie Schwefel und Ammoniak, und ein bei mäßiger Temperaturerhöhung schon seinen Oxydationszustand veränderndes Metallgehalt enthalten, ist in den

zu finden.

Dividiren wir diese Zahlen durch die Atomgewichte:

Ur	71,1	: 60 =	1,185
Damit verb. O	10,422	: 8 =	1,30275
S	4,485	: 16 =	0,2803
NH ₄ O	1,936	: 26 =	0,0745
HO	9,765	: 9 =	1,085

Es muß Früherem zufolge angenommen werden, daß das Ammoniumoxyd (wenigstens der Hauptsache nach) mit unterschwefliger Säure verbunden ist; dann wird durch den Sauerstoff, welchen man dieserhalb hinzuaddiren muß, das erhaltene Minus größtentheils gedeckt. Damit das vorhandene Ammoniumoxyd die Verbindung NH₄O.S₂O₂ geben könne, sind von der Gesamtmenge des Schwefels $2 \cdot 0,0745 = 0,149$ Atome oder 2,384 Proc. abzuziehen, und es bleiben nur 0,1313 At. = 2,101 Proc. Schwefel, die zu dem rothen Körper selbst gehören. Der als unterschweflige Säure gerechnete Schwefel erfordert seinerseits eine gleiche Anzahl Atome Sauerstoff, oder $8 \cdot 0,149 = 1,192$ Proc. dieses Metalloides. Daß jedenfalls eine Partie des Schwefels mit Sauerstoff verbunden ist, habe ich auch experimentell dargethan: durch eine besondere Operation fand ich, allerdings nur mit zweifelhafter Näherung, die Summe der Gewichte des Ammoniaksalzes und des nicht in dieses eingehenden Schwefels aus dem Unterschiede gleich 8,28 Proc.; zieht man hiervon die procentischen Mengen des gesamten Schwefels und des Ammoniumoxyds ab, so bleiben 1,859 Proc. mit Schwefel verbundenen Sauerstoffs.

Da die Atomzahl des Urans von der des zugehörigen Sauerstoffs um 0,11775 übertroffen wird, so gehören 3 $\cdot 0,11775 = 0,35325$ Atome des letzteren und $2 \cdot 0,11775 = 0,2355$ At. des gesamten Urans zusammen, um Uransesquioxyd zu bilden; es bleiben 0,9495 At. Uran, die mit dem Reste, d. i. einer gleichen Anzahl Atome des Sauerstoffs zu Oxydul vereinigt sind. Hiernach kämen auf 5 Gewichtstheile Uran 4 Theile Oxydul und 1 Theil Oxyd. In der eigentlichen blutrothen Verbindung kann der Schwefel gewiß nur mit Uranoxydul verbunden seyn.

Fassen wir die Berechnungen zusammen, so enthält das analysirte Uranroth:

Uranoxydul	64,566
Urancesquioxid	16,956
Mit dem Oxydul verb. Schwefel . .	2,101
Unterschwefligsaures Ammoniumoxyd	5,512
Wasser	9,765
	<hr/> 98,900.

Auf den ersten Blick leuchtet ein, daß diese numerischen Ergebnisse zu keiner irgend rationellen Formel führen können. Vor allen Dingen ist es klar, daß wir es hier mit einem Gemenge zu thun haben. Darauf deutet schon das allgemeine Verhalten der rothen Substanz, und man kann dieses Factum auch dem Auge sichtbar machen. Ueberläßt man nämlich das frisch gefällte Uranoxysulfuret der Einwirkung des überschüssigen Schwefelammoniums, und fängt man die in einer und der nämlichen Flüssigkeit erhaltenen Producte in Zwischenräumen von 8 oder 12 Stunden der Reihe nach auf, so bekommt man mehr als zehnmal nacheinander erheblich verschiedene Farbenntiancen: die Farbe wird fortwährend lebhafter, sie geht vom Orangegelben (was bei der Auswaschung nach den ersten 8 Stunden resultirt) zum Orangerothern und allmählich in ein immer intensiveres Blutroth über. Also findet die Bildung des rothen Körpers *nach und nach* statt: gleichen Schrittes nimmt die Menge des Uranoxysulfuretes ab, jedoch niemals verschwindet dieses ganz, wenn man auch noch so lange wartet. Da sich nun das Oxysulfuret bei genugsam fortgesetztem Auswaschen an der Luft in gelbes Uranoxydhydrat verwandelt, während der zugehörige Schwefel sich in den Waschflüssigkeiten auflöst; so muß das Uranroth nach der Auswaschung eine größere oder geringere Quantität jenes Hydrates als Gemengtheil enthalten, je nach der angewandten Menge Schwefelammonium und der Zeit, während welcher das Reagens gewirkt hat. Vielleicht kann auch bei ungenügendem Auswaschen etwas unverändertes oder halbzersetztes Oxysulfuret übrigbleiben. Die Quan-

tität des Uranoxydhydrates kann übrigens verhältnißmäßig bedeutend seyn, ohne daß die rothe Farbe merklich verlöre.

Man begreift jetzt, daß wohl niemals zwei Uranrothe von vollkommen gleichem Farbentone erhalten werden, und daß verschiedene Producte, die gleichwohl auf die nämliche Art gewonnen wurden, keineswegs eine übereinstimmende Zusammensetzung zeigen. Hr. Rivot fand in einer Substanz, die genau wie die von mir analysirte Masse bereitet worden, jedoch etwas dunkler gefärbt war, durch Reduction mittelst Wasserstoffs 84 Proc. Uranoxydul, was 74,1 Proc. Uran ausmacht; und wiederum in einem andern Producte erhielt er bloß 2,1 Proc. Schwefel (vergl. außerdem die Analyse von Patera, S. 213). Ja ein und dasselbe Uranroth, wiederholentlich analysirt, giebt oft ziemlich abweichende Zahlen.

Was ist nun das eigentliche färbende Princip im Uranroth? Diese Frage präcis zu beantworten, ist für den Augenblick unmöglich.

Die unterschweflige Säure kann nicht wohl eine wesentliche Rolle in der rothen Substanz spielen; vielmehr ist das unterschwefligsaure Ammoniak als accessorisch auftretendes Salz zu betrachten, welches durch die fortgesetzte Einwirkung der Luft auf das Ammoniumsulfhydrat entstanden ist, und dessen Gegenwart, wie oben (S. 216) gezeigt wurde, die Existenz des blutrothen Körpers nicht im Mindesten bedingt. Mit dem Verhalten des Uranrothes gegen Säuren und manche andere Reagentien ist die etwanige Hypothese, daß hier eine Verbindung von unterschwefliger Säure und Uranoxydul vorliege, durchaus unvereinbar.

Somit bleiben uns für die blutrothe, krystallisirende Verbindung im Uranroth nur drei Bestandtheile übrig: Uran, Sauerstoff und Schwefel. In der ganzen Masse ist kein freier Schwefel vorhanden — denn sonst würde sie diesen an Schwefelkohlenstoff abgeben; und auch die eigentliche rothe Substanz (nicht bloß das ammoniakalische Salz) enthält chemisch verbundenen Schwefel — dieß zeigt bestimmt die Einwirkung von Säuren auf das mit Kalilauge

behandelte, äußerlich ganz unverändert gebliebene Präparat. Das Uranroth im engeren Sinne, d. h. der Farbstoff in demselben, ist also erwiesenermaßen ebenfalls ein *Oxysulfuret*, zusammengesetzt aus Uranoxydul, beziehungsweise Uranyl (Ur_2O_2) und Schwefel. Das Uranoxydul als integrierender Bestandtheil ist qualitativ und quantitativ darge-
gethan.

Ueber die wirkliche Formel dieses Oxysulfuretes sind nur Vermuthungen gestattet. Wird ihm die Zusammensetzung des chocoladbraunen Uranoxysulfuretes, $\text{Ur}_2\text{O}_2\text{S}$, zugeschrieben, so kommen auf die betreffende Schwefelmenge (2,101 Proc.) 17,857 von den berechneten 64,566 Proc. Uranoxydul; nimmt man etwa ein Oxysulfuret von der Formel $2\text{Ur}_2\text{O}_2\cdot\text{S}$ an, so gehören dazu 35,714 Proc. Oxydul. In beiden Fällen muß außer dem Uranoxydhydrat noch Uranoxydulhydrat oder Uranoxydul in einem leichter angreifbaren Zustande beigemischt seyn, um so mehr, als es nicht unwahrscheinlich ist, daß der präexistierende Sauerstoff, also auch die Quantität des Sesquioxydes, etwas zu hoch gefunden wurde (vergl. d. Anm. zu S. 228). Es fragt sich übrigens, ob die Menge des mit Uranoxydul verbundenen Schwefels nicht zu klein angeschlagen ist: eine Partie des Ammoniaks kann immerhin als Sulfuret vorliegen und die durch Säuren hervorgerufene Schwefelwasserstoffentwicklung theilweise verursachen.

Für meinen Theil neige ich entschieden zu der Ansicht hin, *daß die färbende Verbindung im Uranroth die nämliche Constitution habe, wie das gewöhnliche Uranoxysulfuret* ($\text{Ur}_2\text{O}_2\text{S}$). Ausführlich meine Gründe hierfür darzulegen wäre nutzlos, weil die Combination zahlreicher von mir selbst beobachteten Thatfachen schwerlich mittheilbar seyn dürfte; durch Hunderte von Versuchen habe ich den Eindruck einer innigen Uebereinstimmung zwischen den Reactionen des chocoladbraunen Oxysulfuretes und der blutrothen Substanz bekommen. Nur in ihrem beiderseitigen Verhalten gegen kaustische Alkalien liegt ein prägnanter Unterschied; allein der weit größere Widerstand, den das

Uranroth diesen Reagentien entgegenstellt, läßt sich da- durch erklären, daß sich dasselbe eben im krystallisirten Zustande befindet. Salzsäure scheidet auch aus dem Uranroth beinahe sämmtlichen Schwefel im freien Zustande ab und löst den zweiten näheren Bestandtheil, das Uranoxydul, der Hauptsache nach zunächst als Chlorür auf; da jedoch die der Einwirkung von Kalihydrat unterworfen gewesene Masse mit Säuren gleichfalls noch etwas Schwefelwasserstoff entwickelt, so scheint bei der Zersetzung durch Chlorwasserstoffsäure stets eine gewisse Quantität der Substanz unter gleichzeitiger Bildung von Schwefelwasserstoff direct in Uranoxychlorid überzugehen.

Wie das *schwarze amorphe Schwefelquecksilber*, wenn es gleich seiner Bildung mit der Auflösung eines alkali- schen Sulfuretes in Berührung bleibt, sich bei gewöhnlicher Temperatur nach längerer Zeit, in der Wärme schneller in einen sehr schönen Zinnober, d. h. in *rothes krystalli- sirtes Schwefelquecksilber*, verwandelt; ebenso würde — falls meine jetzige Auffassung die richtige ist — das frisch gefällte, *chocoladbraune amorphe Uranoxysulfuret* durch den Einfluß des Schwefelammoniums in Uranroth, d. h. in *blut- rothes krystallisirtes Uranoxysulfuret*, übergeführt.

§. 2. — Direct dargestelltes Uranroth.

Durch die verschiedenartigsten Mittel suchte ich die fär- bende Materie des Uranrothes im reinen Zustande zu ge- winnen.

Zunächst behandelte ich fast neutrale Auflösungen von Uranoxyd und Uranoxydul mit wässrigen Lösungen von unterschwefligsaurem Natron oder unterschwefligsaurem Am- moniak. Aber niemals entstand unter diesen Umständen ein dem Uranroth ähnliches Product; im Gegentheil erzeu- gen jene Hyposulfite mit den Salzen des Urans nicht ein- mal uranhaltige Niederschläge.

Wenn man eine Mischung von Schwefelammonium und schwefligsaurem Ammoniak zu einer Uranoxydlösung gießt, so entsteht unter Umständen sofort eine gewisse Quantität Uranroth, die sich in dem erhaltenen Niederschlage befindet.

Diese eigenthümliche Beobachtung veranlafte mich zu Versuchen, durch welche ich mehrere Wege entdeckte, um direct Uranroth darzustellen. Ich werde diejenige Verfahrungsweise beschreiben, die am besten zum Ziele führt.

Als Ausgangspunkt bediene ich mich eines Niederschlags von schöner citronengelber oder schwefelgelber Farbe ¹⁾, der sich bildet, wenn man in Wasser gelöstes salpetersaures Uranoxyd mit einer Auflösung von *krystallisirtem schwefligsaurem Ammoniak* versetzt. Derselbe läßt sich mit Wasser sehr gut auswaschen, obwohl er im Ueberschusse des Fällungsmittels etwas löslich ist, und mehr noch in reinem Wasser. Die ausgewaschene Masse kann bei 100° C. getrocknet werden, zieht sich dabei aber sehr stark zusammen und wird so hart, daß die Zerreibung im Achatmörser Mühe kostet; unter dem Mikroskope sind zahlreiche prismatische Kryställchen darin zu erkennen. Im Kolben giebt die hellgelbe Substanz Wasser, schweflige Säure und Ammoniak, und die kälteren Theile des Gefäßes überziehen sich mit einem weißen Beschlage; zugleich geht das Uran in olivengrünes Oxydoxydul über. Starke Säuren entwickeln allen Schwefel als schweflige Säure; die erhaltenen Lösungen sind gelb und enthalten das Uran in Form von Sesquioxyd.

Die Analyse des hellgelben Niederschlags lieferte folgende Resultate:

1,796 Grm. Substanz gaben nach der Oxydation durch Chlor und Kalilauge 0,783 Grm. schwefelsauren Baryts = 5,98 Proc. Schwefel oder 11,96 Proc. schweflige Säure.

1,613 Grm. Substanz hinterließen bei der Calcination 1,244 Grm. Uranoxydoxydul, macht 78,66 Proc. Uransesquioxyd.

3,262 Grm. Substanz lieferten, nach dem Auflösen in Salzsäure und Verjagung der schwefligen Säure bei sehr gelinder Wärme, durch Fällen mittelst Platinchlorids und

1) Die Farbe des Niederschlags gleicht der des uransauren Ammoniaks, sie ist nur lebhafter; während aber letzteres im frisch gefällten Zustande

Alkohols 0,638 Grm. Platinsalmiak; dem entsprechen 2,28 Proc. Ammoniumoxyd.

Die noch übrigen 7,1 Proc. sind als Wasser zu rechnen. Die Substanz enthält daher:

Urancesquioxid	78,66
Schweflige Säure	11,96
Ammoniumoxyd	2,28
Wasser	7,10
	<hr/> 100,00.

Die Division der Procente durch die Atomgewichte giebt:

Ur_2O_3	78,66 : 144 =	0,5465
SO_2	11,96 : 32 =	0,3737
NH_4O	2,28 : 26 =	0,0877
HO	7,1 : 9 =	0,7889

Es liegt hier ohne Zweifel eine Verbindung von schwefliger Säure und Uranoxyd vor, neben welcher etwas uransaures Ammoniak ($2\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{NH}_4\text{O}$) zufällig auftritt; für die gefundene Quantität des Ammoniak sind demgemäß $2 \cdot 0,0877 = 0,1754$ Atome Uranoxyd in Abrechnung zu bringen, so daß von letzterem 0,3711 Atome bleiben. Die Quotienten für das Urancesquioxid, die schweflige Säure und das Wasser stehen dann in dem Verhältniß 1 : 1,007 : 2,126, welches zu der Formel $\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_2 + 2\text{HO}$ führt¹⁾. Girard erhielt ein analoges Salz in kleinen gelben Pris-

1) Wird der für die schweflige Säure erhaltene Werth als richtig angesehen, so hat man mit Bezug auf die angeführte Formel:

	Berechnet	Gefunden
Uranoxyd	53,81	53,44
Schweflige Säure	11,96	11,96
Wasser	6,73	7,1.

Auch hier stellt sich wieder eine größere Uebereinstimmung heraus, wenn $\text{Ur} = 59,4$, anstatt $= 60$, gesetzt wird. Die Gesamtmenge des Uranoxyds berechnet sich dann zu 78,59 Proc. $= 0,55$ At., die zum Sulfite gehörige beträgt folglich $0,55 - 0,1754 = 0,3746$ At.; werden jetzt die betreffenden Atomzahlen in Procente umgerechnet, so bekommt man:

	Berechnet	Gefunden
Uranoxyd	53,37	53,49
Schweflige Säure	11,96	11,96.

men, indem er Schwefligsäuregas durch Wasser leitete, worin Uranoxydhydrat suspendirt war, und die resultirende gelbe Lösung der freiwilligen Verdunstung überließ; die so dargestellten Krystalle scheinen bloß mehr Wasser zu enthalten, da Girard dieselben nach der Formel $\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_2 + 4\text{HO}$ zusammengesetzt fand ¹⁾.

Schwefligsaures Ammoniak erzeugt also in einer neutralen Uranoxydlösung einen glänzendgelben krystallinischen Niederschlag von drittel-schwefligsaurem (sog. neutralem schwefligsaurem) Uranoxyd, etwas auflöslich in reinem Wasser sowie im Ueberschusse der Reagenslösung. Beiläufig bemerke ich, daß *schwefelsaures Ammoniak* in Auflösungen von Uranoxyd niemals einen Niederschlag hervorbringt.

Das beigemengte Uranoxyd-Ammoniak rührt daher, daß in dem krystallisirten schwefligsauren Ammoniak stets eine gewisse Menge freien Ammoniaks vorhanden ist, was auch schon der Geruch deutlich anzeigt. Die untersuchte Masse enthielt etwa $72\frac{1}{2}$ Theile wasserhaltigen und ungefähr 66 Theile wasserfreien Sulfites ($\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_2$) auf $27\frac{1}{2}$ Theile des Uranates ($2\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{NH}_4\text{O}$). Unmöglich kann hier an eine Art Doppelverbindung gedacht werden; dies folgt auch daraus, daß in einem auf gleiche Weise bereiteten Producte 80,44 Proc. Uranoxyd und 10,58 Proc. schweflige Säure gefunden wurden, Zahlen, welche auf das Vorhandenseyn einer größeren Proportion uransauren Ammoniaks hindeuten ²⁾.

1) Vergl. Graham-Otto's ausführl. Lehrbuch der Chemie, 4. Aufl., II, Abth. 3, S. 95.

2) Diese Zahlen dürfen ferner als ein, wenngleich unvollkommener, analytischer Beweis dafür gelten, daß ich hier ebenfalls ein Gemenge von Uranoxyd-Ammoniak und von neutralem schwefligsauren Uranoxyd mit 2 Atomen Wasser in Händen hatte. Zur Bestimmung des Ammoniaks kam ich nicht mehr, constatirte aber, daß in der getrockneten Masse, wie bei dem vorher analysirten Niederschlage, eine namhafte Quantität des flüchtigen Alkalis enthalten war, die nebst Wasser beim Erhitzen zum Theil isolirt entwich, ohne sich mit der gleichzeitig verflüchtigten Säure zu verbinden; selbst die Ermittlung der letzteren Säure konnte ich nicht zu Ende führen, sondern Hr. Rivot hatte die Freundlichkeit,

Wenn man nun durch jenen hellgelben Niederschlag von Uransulfid in der nämlichen Flüssigkeit, worin er erzeugt wurde, lange Zeit einen sehr lebhaften Strom von Schwefelwasserstoff leitet, und zugleich nach und nach mit Ammoniak sättigt, so erleidet derselbe höchst merkwürdige Farbenveränderungen: Mitunter wird die Masse zunächst schmutziggrün, sodann chocoladbraun, hierauf braunroth und zuletzt blutroth; in anderen Fällen tritt keine grünliche Färbung ein, sondern die Farbe geht der Reihe nach in Orange gelb, Gelbbraun, Chocoladbraun, Braunroth und Blutroth über; endlich kann es kommen, daß die Verwandlung noch einfacher von Statten geht, indem die hellgelbe Substanz sich erst orange gelb und dann direct blutroth färbt. Diese Schwankungen hängen von dem Verhältnisse ab, in welchem die Quantitäten der in Wirkung tretenden Substanzen zu einander stehen, sowie von der Art und Weise, wie die ganze Operation geleitet wird; stets ist das Endproduct, dessen Gewinnung durchschnittlich eine halbe Stunde in Anspruch nimmt, ein prachtvolles Uranroth, wenn gewisse Handgriffe und Vorsichtsmafsregeln

Baryt zu reinigen und zu wägen, und mir das Ergebnifs brieflich mitzutheilen. Indessen läßt sich einfach feststellen, ob bereits die Procente des Uranoxyds und der schwefligen Säure der ausgesprochenen Anforderung entsprechen: aus der gefundenen Menge schwefliger Säure kann entnommen werden, wie viel Uranoxyd und Wasser auf Grund der Formel $\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_2 + 2\text{HO}$ dazu gehören; darauf berechnet man die nach der Formel $2\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{NH}_4\text{O}$ auf das restirende Uranoxyd kommende Quantität Ammoniumoxyd. Führt man diese Rechnungen aus, so ergeben sich für die sämmtlichen Bestandtheile folgende procentische Beträge:

Schweflige Säure	10,58	} 64,141 ($\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_2 + 2\text{HO}$)
Uranoxyd des Sulfites	47,61	
Wasser des Sulfites	5,951	
Uranoxyd des Uranates	32,83	} 35,794 ($2\text{Ur}_2\text{O}_3 \cdot \text{NH}_4\text{O}$).
Ammoniumoxyd do.	2,964	
<hr/>		99,935.

Die Uebereinstimmung ist eine so absolute, daß sie nicht auf Zufall beruhen kann.

beobachtet werden. So muß man gleich nach der Fällung mit Ammoniaksulfit die Flüssigkeit ammoniakalisch machen, weil sonst der Schwefelwasserstoff mit dem Ueberschusse des genannten Salzes freien Schwefel giebt, wodurch der gelbe Niederschlag ein weißliches Aussehen erlangt; ferner darf das Ammoniak nicht in zu bedeutender Menge angewandt werden, und vor allen Dingen muß man darauf achten, daß kein zu großes Uebermaafs von schwefligsaurem Ammoniak vorhanden sey. In der That kann hierdurch die Bildung des Uranrothes vollständig vereitelt werden; und bisweilen geschieht es, daß alles Uran in beständige Lösung übergeht, aus der es sich erst nach dem Uebersättigen mit einer Säure durch die gewöhnlichen Fällungsmittel niederschlagen läßt. Ich habe dieses sonderbare Phänomen in solchen Fällen wahrgenommen, wo das schwefligsaure Ammoniak bedeutend vorherrschte. Es kommt alsdann ein Moment, wo sich alles Uran plötzlich zu einer braunen Flüssigkeit auflöst, aus der weder durch weiteren Zusatz von Ammoniak noch auch durch Schwefelammonium eine Spur des Metalles gefällt werden kann; gleichzeitig bildet sich *Pentathionsäure* unter reichlicher Ausscheidung von graugelbem Schwefel.

Nachdem die Bereitung des Uranrothes schon beendet ist, thut man gut, den Schwefelwasserstoffstrom noch kurze Zeit andauern zu lassen. Die überragende Flüssigkeit ist nun ganz wasserhell und farblos; bald aber bräunt sie sich an der Luft, und diese Alteration schreitet von oben nach unten fort. Hat sie den Boden des Gefäßes, wo sich das Uranroth befindet, erreicht, so wird letzteres auch zersetzt, indem es in eine schwarze Masse übergeht. Aus diesem Grunde muß man zu Anfang etwas schnell durch Decantiren auswaschen.

So lange das Product noch feucht ist, besitzt es eine lebhaft blutrothe Farbe von seltener Pracht; nach der Trocknung, die bei 100° C. geschehen kann, und der Pulverung der zusammengebackenen Klumpen ist dieselbe ein wenig matter. Stets ist übrigens die getrocknete und gepulverte

Materie von hellerer und brillanterer Farbe, als das im Schwefelammonium gewonnene Uranroth, und sie steht dem Zinnoberroth ziemlich nahe.

Einer näheren Prüfung unterzog ich eine auf angegebene Art aus 40 Grm. salpetersauren Uranoxyds dargestellte Substanz, welche bloß eine orangegelbe Zwischenfärbung gezeigt hatte. Dieselbe enthält dunkelrothe octaëdrische Krystalle, die unter dem Mikroskope zu erkennen sind; auch sonst gleicht sie dem gewöhnlichen Uranroth. So giebt sie ebenfalls im Kolben, aufser Wasser und freiem Schwefel, eine kleine Quantität unterschwefligsauren Ammoniaks; durch kohlenaures und schwefligsaures Ammoniak wird sie jedoch schwieriger zersetzt, und mit Säuren liefert sie weniger freien Schwefel und eine noch schwächere Schwefelwasserstoffentwicklung.

Die Analyse des im Vacuum völlig ausgetrockneten Pulvers führte zu folgenden Ergebnissen:

1) 1,136 Grm. Substanz hinterliessen bei der Calcipation 0,965 Grm. Uranoxydoxydul, macht 72,25 Proc. Uran.

0,499 Grm. Substanz gaben 0,425 Grm. Oxydoxydul oder 72,39 Proc. Uran.

Mittel: 72,32 Proc. Uran.

2) 1,115 Grm. Substanz wurden durch Königswasser oxydirt; in der Lösung fand ich 0,244 Grm. schwefelsauren Baryts = 3 Proc. Schwefel.

3) Endlich lieferten 2,81 Grm. Substanz, durch Behandeln mit Chlorwasserstoffsäure und Fällen mittelst Platinchlorids und Alkohols, 0,043 Grm. = 1,53 Proc. im freien Zustande ausgeschiedenen Schwefels, und 0,178 Grm. Chlorplatinammonium oder 0,74 Proc. Ammoniumoxyd.

Ich will es gar nicht unternehmen, diese Resultate zu discutiren. Die gefundenen Mengen Schwefel und Ammoniak sind zu unbedeutend, als daß sie überhaupt einen vernünftigen Schluss auf die Zusammensetzung dieses Uranrothes gestatten könnten. Ich führe nur an, daß eine andere Portion der nämlichen Substanz 86,55 Proc. Uran-

oxydoxydul = 73,57 Proc. Uran lieferte; was von den obigen Zahlen erheblich abweicht. Aus Allem scheint hervorzugehen, daß das nach meiner Methode bereitete Uranroth ein noch complicirteres Gemenge ist, als die blutrothe Masse, welche von der Umwandlung des Uranoxysulfures im überschüssigen Schwefelammonium und der Auswaschung des so erhaltenen Productes herrührt. —

Schon habe ich Gelegenheit gehabt, anzudeuten, daß der Niederschlag, den *Natriumsulfhydrat* in einer Auflösung von salpetersaurem Uranoxyd hervorbringt, niemals durch das überschüssige Reagens eine Umwandlung erfährt, welche dem Uebergange des Uranoxysulfures in Uranroth zu vergleichen wäre (s. S. 213). Der orangefarbige Niederschlag geht nur, sofern mit wässerigen Flüssigkeiten operirt wird, nach 24 Stunden oder einigen Tagen in eine schmutzigrüne, höchst unbeständige Masse über; letztere verwandelt sich aber, wenn zugleich mit dem Sulfhydrate unterschwefligsaures Natron hinzugefügt wurde, nach sehr langer Zeit, etwa einem Monate, größtentheils in eine blutrothe, dem Uranroth ähnliche Substanz.

Schwefligsaures Natron giebt in einer neutralen Uranoxydlösung, ebenso wie schwefligsaures Ammoniak, einen hellgelben Niederschlag, der sich von dem orangegelben uransauren Natron sehr deutlich unterscheidet. Wird dieses Präcipitat, unter allmählichem Zusatz von Natronlauge, mit Schwefelwasserstoff behandelt, so bildet sich eine schmutzigrüne Masse, welche durch den fortdauernden Einfluß des Gasstromes langsam grünlichbraun und endlich blutroth werden kann: man bekommt ein wirkliches Uranroth. Die Operation gelingt indessen viel seltener, als bei der Anwendung ammoniakalischer Reagentien, und bloß dann, wenn man die Quantitäten des überschüssigen Sulfites und des zur Sättigung dienenden Natronhydrates möglichst einschränkt; auch ist das so erhaltene Uranroth, obschon anfangs seine Farbe derjenigen der sonstigen Producte dieser Art nicht nachsteht, leicht zersetzbar, und bisher konnte

ich nicht vermeiden, daß es bei der Auswaschung sich alterirte und eine rüthlichbraune Mißfärbung annahm¹⁾).

Die zunächst entstandene schmutziggrüne Substanz, bei der die Farbenveränderung sehr oft stehen bleibt, kann durch Decantiren ausgewaschen und abfiltrirt werden; durch längere Berührung mit Wasser wird sie theilweise gelb.

Läßt man auf frisch gefälltes Uranoxysulfuret einen Strom von *schwefliger Säure* einwirken, so erfolgt niemals eine Bildung von Uranroth; es tritt vielmehr völlige Zersetzung ein, wobei schließlic eine schwarze, durch kalte Chlorwasserstoffsäure schwer angreifbare Masse zurückbleibt (ohne Zweifel Uranoxydul, das vielleicht in Folge der Temperaturerhöhung entsteht).

Die verschiedenen Uranrothe könnten wegen der Schönheit, des warmen Tones und der großen tingirenden Kraft ihrer Farbe eine vortheilhafte Anwendung in der Malerei finden, wenn sie in Berührung mit den Oelen haltbar wären. Leider zersetzen sie sich allmählich, nachdem man sie mit Mohn- oder Nußöl angerieben hat; die Farbe, welche zuletzt bestehen bleibt, erinnert sehr an die sogenannte

- 1) Nicht unerwähnt will ich lassen, daß nach Berzelius »eine orangefarbene Verbindung erhalten wird, wenn man ein alkalihaltiges Uranoxydhydrat mit Wasser anrührt, Schwefelwasserstoff unter stetem Umrühren langsam durchstreichen läßt und, wenn die Farbe die gehörige Tiefe erhalten hat, die Operation unterbricht« (Lehrb. d. Chemie, übers. von F. Wöhler, 4. Aufl., III, S. 321); man muß also z. B. feuchtes Uranoxyd-Kali diesem Experimente unterwerfen können. Die so gewonnene Substanz hielt Berzelius für ein Oxysulfuret, und nach den Reactionen zu schließen, welche er mittheilt, war in derselben sehr wahrscheinlich eine gewisse Quantität Uranroth vorhanden (in der Hitze werde schweflige Säure und Wasser, durch Salzsäure freier Schwefel und Schwefelwasserstoff daraus entbunden). Er macht noch darauf aufmerksam, daß man das Durchleiten des Schwefelwasserstoffs nicht zu lange fortsetzen dürfe; denn alsdann gehe das Oxyd ganz in »Schwefeluran« (d. i. Uranoxysulfuret) über (?) und werde schwarz.

Vorstehende Angaben des berühmten schwedischen Chemikers waren mir unbekannt, zur Zeit wo ich meine Versuche anstellte. Bei meiner Darstellungsweise verfolgte ich zunächst die Idee, durch Erzeugung von Sulfuret im Beiseyn von Sulfit unterschweflige Säure hervorzubringen.

gebrannte *Terra de Sienna*. Uebrigens findet diese Alteration bei den direct dargestellten Uranrothen langsamer und unvollständiger statt, als bei denjenigen, welche durch die Einwirkung von Schwefelammonium gewonnen wurden.

Dafs es Mittel giebt, die Uranrothe als Aquarellfarben zu benutzen, möchte ich nicht bezweifeln.

III. Ueber die Aggregatzustände der Verbindungen erster Ordnung; von P. Kremers.

Werden die Verbindungen erster Ordnung, welche innerhalb bestimmter Temperaturen entweder direct (Bd. 124, S. 406) oder indirect entstehen, bei gewöhnlichem Luftdruck ¹⁾ miteinander verglichen, so liegen die Gränzen des flüssigen Zustandes nach den vorhandenen Beobachtungen ²⁾ bei folgenden Temperaturen ³⁾:

- 1) Wo Beobachtungen bei verschiedenem Luftdruck vorliegen, ist hiernächst diejenige angeführt, welche einem Druck von 760^{mm} sunächstliegt.
- 2) Die Beobachter sind entweder in dem Handbuche von Gmelin oder in den Jahresberichten angegeben.
- 3) Die unter den einzelnen Atomen befindlichen Zahlen oder Buchstaben bezeichnen die Schmelzpunkte, die darüber befindlichen die Siedepunkte. Der Buchstabe *r* bedeutet Rothgluth und *w* bedeutet Weissgluth. Ein auf diese Buchstaben oder eine Zahl folgendes + oder — bedeutet, dafs die Temperatur noch um eine unbestimmte Gröfse höher oder niedriger ist. Das Zeichen

niedrigerer < höherer

Schmelz- oder Siedepunkt ist, um eine leichtere Uebersicht über die Tabelle zu gewinnen, auch dort eingeschoben, wo zu beiden Seiten bereits bestimmte Zahlenwerthe vorliegen. Wenn dieses Zeichen unter oder über einer chemischen Bezeichnung liegt, so bezieht es sich nicht auf diese, sondern auf die beiden nebenliegenden. Wenn neben ihm noch der Buchstabe *n* steht, so bezieht es sich auf alle die Atome, welche durch diesen Buchstaben verbunden sind.

Linien erster Richtung.

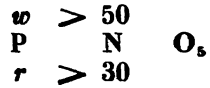
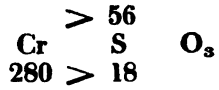
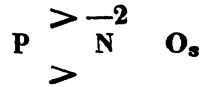
Li	Na	K	O	Th ... Zr	.	B	O ₂
		> _r		u	>		
Ca	Sr	Ba	O		$r > 280$	> -10	
		>			Te	Se	S O ₂
					340	> 280 +	> -79
Li	Na	K	O ₃ ?	Bi	>	> 218	P O ₃
		>			.	Sb	As
					>	$r > 218$	
				W	^u	V	> Mo O ₃
				Bi	.	Sb	As
						^w	P O ₃
						<	_r

Linien zweiter Richtung.

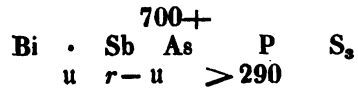
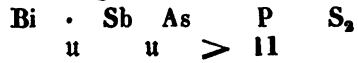
Li	Mg	Ca	O	Ti	Si	B	O ₂
		< _u		u	>	_r	
Na	Zn	Sr	O	V		> 280	
		< _u				.	Se O ₂
						> 280	
K	Cd	Ba	O	Mo		> -10	
		< _u				.	S O ₂
						> -79	
				Mo		> 56	
						.	S O ₃
						> 18	

Linien dritter Richtung.

100	<					>	-78	
H		Li	O		Si		C	O ₂
0	<					>		



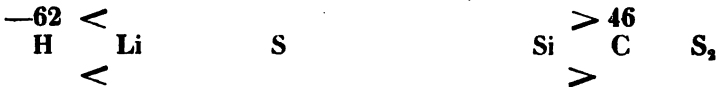
Linien erster Richtung.



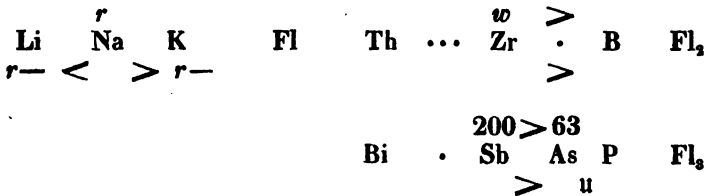
Linien zweiter Richtung.



Linien dritter Richtung.



Linien erster Richtung.



Linie dritter Richtung.



Linien erster Richtung.

$$\begin{array}{ccccccc} w < > & & & & & 141+ > 136 \\ \text{Li} & \text{Na} & \text{K} \dots \text{Rb} \dots \text{Cs} & & \text{Cl} & & \text{Ta} & \text{Nb} & \text{Ti} & \text{Cl}_2 \\ < r > & & & & & 221 & & & \end{array}$$

750	750			118	>	57	
Mg	Zn	Cd	Cl	Sn	.	Si	Cl ₂
$r - > 100 <$				0 -		0 -	

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Ca} & \text{Sr} & \text{Ba} & \text{Cl} & 440+ & > & 18 \\ r & & r & & \text{Th} & \dots & \text{Zr} & \cdot & \text{B} & \text{Cl}_2 \\ & & & & & & & & 0- & \end{array}$$

Bi . $\begin{matrix} 223 > 134 > 74 \\ \text{Sb} & \text{As} & \text{P} \\ 73 \end{matrix}$ Cl₈

W. V. Mo Cl₃
129 >

Linien zweiter Richtung.

$$\begin{array}{ccccccc} & 750 & & & 144+ > 118 & & \\ \text{Li} & \text{Mg} & \text{Ca} & \text{Cl} & \text{Ta} & \text{Sn} & \text{Zr} & \text{Cl}_2 \\ & u & < r & & 221 & > & & \end{array}$$
$$\begin{array}{ccccccc} w > 750 & & & & 136 & > 57 > 18 & \dots \\ \text{Na} & \text{Zn} & \text{Sr} & \text{Cl} & \text{Ti} & \text{Si} & \text{B} & \text{Cl}_2 \\ & > 100 < & & & & 0- & 0- & \end{array}$$
$$\mathbf{K} \quad \mathbf{Cd} \quad \mathbf{Ba} \quad \mathbf{Cl}$$

$$u \quad < r$$

Linien dritter Richtung.

$$\begin{array}{ccccc} & & & 57 & < 77 \\ \text{H} & < & \text{Li} & & \text{Cl} & & \text{Si} & < & \text{C}^{(1)} & & \text{Cl}_2 \\ & < & & & & & -25 & & & & \end{array}$$
$$\begin{array}{ccc} \text{Mg} & ^< & \text{Y} \\ & & \text{Cl} \end{array} \quad \begin{array}{ccc} 74 > 71 - \\ \text{P} & \text{N} & \text{Cl}_2 \\ & -40- & \end{array}$$

1) Der bei C angeführte Schmelz- und Siedepunkt entspricht der Verbindung C_2Cl_4 . Dieser Siedepunkt ist also nicht vergleichbar mit demjenigen, welcher der Verbindung $SiCl_2$ entspricht. Dem Verhalten der

Linien erster Richtung.

Mg	Zn	Cd	Br	Sn	.	153	Br ₂
r					>	-12	
				Te	Se	S	Br ₂
					>		
				r—	> 275	> 220	> 175
				Bi	.	Sb	As
				200	> 90	> 22	> -12—
						P	Br ₂

Linien zweiter Richtung.

Li	Mg	Ca	Br	230	> 153	> 91	
<	u			Ti	Si	B	Br ₂
				39	> -12		
				Mo	.	S	Br ₂
					>		

Linie dritter Richtung.

H	<	Li	Br
<			

Linien erster Richtung.

Li	Na	>	K	J	295	.	Si	J ₂
		<			Sn			
					146			
Ca	Sr	Ba	J					
r—	r—	<						

Linie zweiter Richtung.

K	Cd	Ba	J
	<		

Linie dritter Richtung.

H	<	Li	J
<			

polymeren Verbindungen gemäß ist es wahrscheinlich, daß der Siedepunkt der Verbindung CCl_2 unter 57° liegt, die Linie

Si C

also in Verbindung mit Cl_2 sich ebenso verhält wie in Verbindung mit O_2 oder S_2 .

Den vorstehenden Beobachtungen zufolge werden die Maxima und Minima der früher (Bd. 122, S. 99 und 250) zusammengestellten, den flüssigen Zustand der einzelnen Linien des Körpernetzes beiderseits begränzenden Wellenlinien in sehr verschiedener Weise verschoben, je nachdem die Linien des Körpernetzes

mit O oder S,

mit Fl oder Cl oder Br oder J

sich vereinigen.

Das Maximum der beiden den flüssigen Zustand der Linie

Li Na K . . Rb . . Cs

begränzenden Wellenlinien (Bd. 122, S. 102) erscheint am Pole dieser Linie erst dann, wenn dieselbe sich mit Fl oder Cl oder J vereinigt. Ist die Linie mit Cl vereinigt, so liegt das Maximum der untern und obern Gränzlinie des flüssigen Zustandes bei ein und demselben Atome; ist sie dagegen mit J vereinigt, so liegen beide Maxima bei verschiedenen Atomen.

Das Maximum, welches die untere Gränzlinie des flüssigen Zustandes in der Linie

Bi . Sb As P

bei As erreicht, wird über das Atom Bi hinaus verschoben, wenn diese Linie mit O₂ oder Br₂ sich vereinigt.

Die Gränzlinien des flüssigen Zustandes, welche in den Linien

erster Richtung Sn . Si

zweiter " Si B

dritter " Si C

bei steigendem Atomgewichte einem Minimum zulaufen, nehmen einen entgegengesetzten Verlauf, wenn diese Linien sich mit O₂ oder S₂, mit Cl₂ oder Br₂ vereinigen.

Durch die Vereinigung mit einem der genannten sechs Körper werden also die Linie

Li Na K . . Rb . . Cs

theilweise, die übrigen Linien vollständig derart modificirt, daß die beiden Gränzlinien des flüssigen Zustandes bei

steigendem Atomgewichte in höhere Temperaturen rücken, wohingegen dieses Verhältniß, wenn es schon in den Linien des Körpernetzes besteht, durch deren Vereinigung mit einem der genannten sechs Körper nur selten geändert wird ¹⁾).

Die Gränzlinien des flüssigen Zustandes nehmen demnach, wie auch schon aus der vorstehenden Tabelle sogleich ersichtlich ist, bei den Verbindungen erster Ordnung einen weit einfachern Verlauf, als bei den unzerlegten Körpern.

Die Verschiebung der Maxima und Minima in der Richtung der Abscissenaxe wird begleitet von einer Verschiebung der Wellenlinien in der Richtung der Ordinatenaxe.

Wenn die Linien erster und zweiter Richtung

Li	Na	K
Mg	Zn	Cd
Ca	Sr	Ba

oder auch die Linie dritter Richtung

H Li

sich mit O vereinigen, so rücken die Gränzlinien des flüssigen Zustandes in höhere Temperaturen, entfernen sich also von der Abscissenaxe. Sie nähern sich derselben indess wieder, wenn O durch S ersetzt wird.

Wenn die Linien erster und zweiter Richtung

Ta	Nb	Ti
Sn		Si
Zr		B

- 1) Letzteres wird unter den 28 vorstehenden Fällen nur bei zweien beobachtet, nämlich wenn die Linie erster Richtung

AsP

mit O₂ oder die Linie zweiter Richtung

Na Zn

mit Cl sich vereinigt.

oder auch die Linie dritter Richtung

Si C

sich mit O_2 vereinigen, so entfernen sich die Gränzlinien des flüssigen Zustandes nur theilweise von der Abscissenaxe, indem mitunter, wie z. B. in der Linie zweiter Richtung

Si B

oder auch in der Linie dritter Richtung

Si C

dieselben einander durchkreuzen. Beide Kreuzungspunkte werden verschoben, wenn O_2 durch S_2 ersetzt wird.

Wenn die Linie erster Richtung

Bi · Sb As P

mit O_2 sich vereinigt, so entfernen sich die Gränzlinien des flüssigen Zustandes gleichfalls nur theilweise von der Abscissenaxe. Es ist indess in dieser Linie nicht, wie in den beiden vorgenannten Linien, das leichteste Atom, bei welchem die Gränzlinien des flüssigen Zustandes der Abscissenaxe sich nähern, sondern das nächstfolgende schwerere Atom As. In dieser Linie wird daher auch neben dem zwischen Sb und As belegenen, den beiden vorgenannten entsprechenden Kreuzungspunkte noch ein anderer Kreuzungspunkt beobachtet, welcher zwischen As und P liegt und von jenem verschieden ist.

Wenn die Linien erster und zweiter Richtung

Li	Na	K
Mg	Zn	Cd
Ca	Sr	Ba

oder auch die Linie dritter Richtung

H Li

mit Cl sich vereinigen, so entfernen sich die Gränzlinien des flüssigen Zustandes von der Abscissenaxe in den Linien erster Richtung

Li Na K . . Rb . . Cs

Ca Sr Ba

und in der Linie dritter Richtung

H Li;

sie nähern sich dagegen derselben in der Linie erster Richtung

Mg Zn Cd.

In den Linien zweiter Richtung

Li Mg Ca

Na Zn Sr

K Cd Ba

werden daher wieder beide vorerwähnte Kreuzungspunkte beobachtet. Wird in den genannten Linien Cl durch Br oder Br durch J ersetzt, so nähern sich die Linien

Li Na K

Ca Sr Ba

wieder der Linie

Mg Zn Cd,

indem jene beiden der Abscissenaxe sich nähern, diese dagegen sich von ihr entfernt.

Wenn die Linien erster und zweiter Richtung

Ta	Nb	Ti
Sn		Si
Zr		B

sich mit Cl₂ vereinigen, so nähern die Gränzlinien des flüssigen Zustandes sich der Abscissenaxe und entfernen sich von derselben wieder, wenn Cl₂ durch Br₂ ersetzt wird. In gleicher Weise verhält sich auch die Linie

Bi . Sb As P,

wenn sie sich zunächst mit Cl₂ vereinigt und dieses durch Br₂ ersetzt wird.

Die Distanz des flüssigen Zustandes, in der Richtung der Ordinatenaxe gemessen, ist bei



Indem also die Linie



mit O_2 oder auch die Linie



mit Sb sich vereinigt, wird das früher (Bd. 122, S. 103) erwähnte, jenen beiden Linien gemeinsame Verhalten, dass nämlich die Distanz des flüssigen Zustandes nach einer Maximallinie hin grösser wird, in ersterer Linie bei Se vorübergehend gestört und ein der Linie



ähnliches Verhalten beobachtet.

Die Modification des mittlern Siedepunktes berechnet sich aus den vorstehenden Zahlen für einzelne Verbindungen erster Ordnung wie folgt ¹⁾:



Die vorstehenden Modificationen haben dasselbe Vorzeichen wie die Modificationen des mittlern Atomgewichts As und Si. Der Austritt einzelner Moleküle, welcher die Entstehung der beiden Mittelatome As und Si begleitet, bedingt also hier zugleich auch eine Erniedrigung des mittlern Siedepunktes. Dieselbe ist bei den Chlortüren bedeutender als bei den Bromüren, verhält sich also umgekehrt wie die Massen, worauf sie sich vertheilt.

Die Modification des mittlern Schmelzpunktes Se O}_2 ist, gleichwie auch die entsprechende Modification As, negativ und also entgegengesetzt der Modification des mittlern Atomgewichts Se. Der Austritt einzelner Moleküle bedingt demnach hier eine Erhöhung des mittlern Schmelzpunktes.

An der untern Gränze des flüssigen Zustandes erscheint

- 1) Bei den Verbindungen erster Ordnung ist dasjenige Atom, welches als aus den beiden nebenliegenden zusammengesetzt betrachtet wird, unterstrichen.

sowohl bei AsO_3 als auch bei SbO_3 von den bisher bekannten Modificationen des festen Zustandes zunächst die rhombische und erst bei einer niedrigeren Temperatur die reguläre Modification, bei HgJ') zunächst auch wieder die rhombische und erst bei einer niedrigeren Temperatur die tetragonale Modification. Die Aufeinanderfolge der Modificationen entspricht also bei den genannten drei Verbindungen erster Ordnung derjenigen, welche (Bd. 122, S. 105) bei den Atomen S und C beobachtet wird, indem hier wie dort die Modification des festen Zustandes bei abnehmender Temperatur der regulären sich nähert oder dieselbe erreicht. Die Verbindung AsO_3 erreicht die obere Gränze der regulären Modification bei 200° und die Verbindung SbO_3 schon bei einer noch höhern Temperatur. Durch Vermittlung dritter Körper können diese Gränzen verschoben werden.

Die amorphe Modification, in welcher die Molecüle noch richtungslos wie im flüssigen Zustande nebeneinanderliegen, wird in der Linie

$\text{Bi} \cdot \text{Sb} \text{ As } \text{P}$,

wenn dieselbe mit O_3 verbunden ist, in auffallender Weise nur bei den beiden leichtern Atomen As und P beobachtet. Durch die Molecularträgheit bedingt wird also in dieser Linie die amorphe Modification bei gewöhnlicher Temperatur dort am deutlichsten beobachtet, wo die untere Gränzlinie des flüssigen Zustandes dieser Temperatur am meisten sich nähert. Bei der Verbindung AsO_3 geht dieselbe noch

1) Wenn

		Rh				Pb		
wie	Pd	.	Pt	so auch	Hg	.	Tl	liegen,
		Jr						

so ist hinsichtlich der S. 105 erwähnte

$\text{— Tl} < \text{Pb}$.

leicht in die der gewöhnlichen Temperatur entsprechende reguläre Modification über, nicht aber bei der Verbindung PO_3 .

In den verschiedenen Modificationen des festen Zustandes ist die Molecularträgheit, weil sie hier überhaupt bedeutender auftritt als im flüssigen Zustande, oft sehr verschieden. Die rhombische Modification der Verbindung HgJ kann schon bei gewöhnlicher Temperatur, also unweit ihrer untern Gränze, durch die leiseste Erschütterung in die dieser Temperatur entsprechende tetragonale Modification übergeführt werden, wohingegen die rhombische Modification der Verbindungen SbO_3 und AsO_3 , deren untere Gränze doch weit über der gewöhnlichen Temperatur liegt, in gleicher Weise bei gewöhnlicher Temperatur nicht in die dieser Temperatur entsprechende reguläre Modification übergeführt werden kann.

IV. Ueber die Fortpflanzung der Wärme; von J. Stefan.

(Aus dem XLVII. Bande der Sitzungsberichte der Wiener Akademie;
von Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Zwischen den Fortpflanzungsarten des Schalles und der Wärme besteht ein wesentlicher Unterschied. Wird irgendwo in einem Körper eine Schallbewegung erregt, so verschwindet sie alsbald an diesem Orte, sie tritt vollständig in die zunächst liegenden Theile des Körpers über, wandert von diesen wieder weiter von Schicht zu Schicht bis an die Gränzen des Körpers, wo sie zum Theile aus ihm heraustritt, zum Theile aber in ihn wieder zurückkehrt.

Wird hingegen irgendwo in einem Körper eine Temperaturerhöhung hervorgerufen, so tritt zwar von diesem Orte auch Wärme in die Umgebung über, jedoch nicht

vollständig, nur ein Theil des hervorgerufenen Wärmeüberschusses wandert weiter, ein Theil bleibt im Orte der ursprünglichen Erregung zurück. Zwischen den auf einander folgenden ungleich warmen Schichten des Körpers besteht nur das Bestreben nach dem Ausgleiche der Temperaturen. Die Wärmeabgabe von der höher temperirten an die kältere Schicht bleibt immer an die Bedingung gebunden, daß die Temperatur der abgebenden Schicht nicht unter die Temperatur der empfangenden sinken kann, die Gleichheit der Temperaturen bildet das Ziel der Wärmeleitung.

Diese Verschiedenheit in der Erscheinung hatte natürlicher Weise zur Folge, daß man sowohl bei experimentellen als theoretischen Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles und der Wärme die Beantwortung verschiedener Fragen sich zur Aufgabe machte. Beim Schall drängte sich zuerst die Frage auf: wie weit geht die Schallbewegung in einer bestimmten Zeit. Nachdem das gleichförmige Fortschreiten des Schalles erkannt war, mußte seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit und ihre Abhängigkeit von den verschiedenen Eigenschaften der Körper bestimmt werden. Bei den Untersuchungen über die Fortpflanzung der Wärme trat jedoch eine andere Frage in den Vordergrund, nämlich die Frage: Wie viel Wärme geht in einer bestimmten Zeit von einer Partie des Körpers zu einer andern? und das Augenmerk der Physiker richtete sich zunächst darauf, die Abhängigkeit dieser Wärmemenge von der Gröfse und Entfernung der im Wärmeaustausch befindlichen Stücke, von dem Unterschiede ihrer Temperaturen, von der Natur des Körpers, dem sie angehören, zu finden. Bei Beantwortung dieser Fragen wurde man zur Aufstellung des Begriffes Wärmeleitungsvermögen geführt. Die Bestimmung desselben geschieht auf folgende Weise:

Man denkt sich einen unendlich ausgedehnten, durchaus gleichartigen Körper und theilt denselben durch ein System von sehr nahe an einander liegenden parallelen

Ebenen in sehr dünne Schichten. Die Wärme wird in demselben so vertheilt angenommen, daß alle Punkte einer Schicht dieselbe Temperatur besitzen, letztere also nur von Schicht zu Schicht sich ändert und zwar gleichförmig in der Weise, daß je zwei um die Längeneinheit von einander abstehenden Schichten in ihren Temperaturen um die Einheit irgend einer Thermometerscale differiren. Unter diesen Voraussetzungen hat man im Körper einen constanten Wärmestrom von der wärmeren gegen die kältere Seite, in jede Schicht des Körpers tritt in einer gegebenen Zeit eben so viel Wärme als in derselben Zeit aus ihr heraustritt, es befindet sich also auch die Temperatur jeder Schicht im Zustande der Beharrung. Die *Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit einer der Parallelebenen geht, nennt man das Wärmeleitungsvermögen des Körpers.*

Das Fortschreiten des Schalles in einem Körper ist durch die Gröfse seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit vollständig bestimmt, nicht so die Wärmebewegung durch die Gröfse des Leitungsvermögens. Man hat hier einen ähnlichen Fall, wie wenn es sich um den Ausfluß von Luft aus einem Gefäße handelt. Ist nur das Luftquantum gegeben, welches in der Zeiteinheit aus dem Gefäße tritt, so ist dadurch die Bewegung der Luft noch gar nicht bestimmt, weil das Luftquantum von zwei verschiedenen Factoren, von der Dichte der Luft und von ihrer Ausflußgeschwindigkeit abhängig ist. Denkt man sich die Wärme als Stoff, so hat man das Wärmeleitungsvermögen wie eine Ausflußmenge zu betrachten, und die Wärmebewegung wird erst bestimmt seyn, wenn Dichte und Geschwindigkeit des strömenden Stoffes bestimmt sind. Denkt man sich hingegen die Wärme als lebendige Kraft, welche in Bewegungen der Molecüle oder Atome eines Körpers liegt, und stellt man sich die Wärmeleitung als ein ruckweises Uebertragen von lebendiger Kraft von Schicht zu Schicht vor, so hat man auch hier nach zwei Dingen zu fragen, nach der Gröfse

der lebendigen Kraft, welche mit einem solchen Ruck fortgetragen wird, und nach der Dauer dieses Ruckes.

Zur Erforschung der Wärmebewegung liefert der bei Bestimmung des Wärmeleitungsvermögens betrachtete Beharrungszustand keine weiteren Behelfe, man muß sich zu den Fällen ungleichförmiger Bewegung wenden. Ich will der grösseren Deutlichkeit wegen gleich einen concreten Fall ins Auge fassen, an dem sich alles, was Erfahrung und Theorie in dieser Hinsicht liefern, ersehen läßt.

Denken wir uns einen sehr langen Stab von überall gleichem Querschnitt und gleicher physischer Beschaffenheit. Er habe ursprünglich an allen Orten dieselbe Temperatur, und wenn sich diese späterhin ändert, so sollen Temperaturdifferenzen nur von Querschnitt zu Querschnitt, nicht aber innerhalb eines solchen stattfinden. Diese anfängliche constante Temperatur sey die des gefrierenden Wassers, 0° . Nun werde das eine Ende plötzlich um α Grade erwärmt und fortan bei dieser Temperatur erhalten. Bringt man in einiger Entfernung von diesem Ende ein Thermometer am Stabe an, so wird dieses nach Verlauf einiger Zeit z. B. die Temperatur 1° angeben. Bleibt man mit dem Thermometer fortwährend an dieser Stelle, so werden seine Angaben immer höher und höher und man ist auf diese Weise im Stande, das Wachsen der Temperatur an einem bestimmten Orte zu untersuchen. Will man aber, daß das Thermometer fortwährend 1° zeige, so wird man mit dem Thermometer allmählich weiter rücken müssen, die Temperatur 4° tritt nämlich an immer weiter und weiter entfernten Stellen auf. Auf die Weise ist man im Stande, das Fortschreiten einer bestimmten Temperatur längs des Stabes zu verfolgen.

Ueber diese beiden Merkmale der Wärmebewegung giebt auch die mathematische Theorie der Wärmeleitung, welche wir Fourier verdanken, genügenden Aufschluß. Bedeutet α die Temperatur zur Zeit t in einem Querschnitte, welcher im Abstände x vom Anfange des Stabes sich be-

findet, so hat man u für das betrachtete Problem aus der Differentialgleichung

$$\frac{du}{dt} = k \frac{d^2 u}{dx^2} \quad (1)$$

zu suchen. Darin bedeutet k den Quotienten aus dem Wärmeleitungsvermögen und aus dem Producte der Wärmecapacität und des specifischen Gewichtes des Körpers. Das Integral dieser Gleichung, welches auch der für das Ende vorausgesetzten Bedingung genügt, kann in der Form

$$u = a \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-\eta^2} d\eta \right] \quad (2)$$

dargestellt werden. Läßt man x constant und ändert t , so erhält man die Temperaturen an einem und demselben Orte zu verschiedenen Zeiten.

Will man jedoch mittelst dieser Formel das Gesetz des Fortschreitens einer bestimmten Temperatur u finden, so hat man die obere Gränze in dem Integrale so zu bestimmen, daß

$$\int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-\eta^2} d\eta = \frac{a-u}{2} \sqrt{\pi}$$

wird. Geht in den Fall, dieser Werth sey η , so giebt die Gleichung

$$\frac{x}{2\sqrt{kt}} = \eta$$

das Gesetz für die Bewegung der Temperatur u . Die Bewegung ist eine ungleichförmig verzögerte. Die Geschwindigkeit und die Beschleunigung zur Zeit t sind gegeben durch die Formeln

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\alpha \sqrt{k}}{\sqrt{t}}, \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{\alpha \sqrt{k}}{2t\sqrt{t}},$$

Die Bewegung der Temperatur u ist daher abhängig von der GröÙe der Temperaturdifferenz $a - u$, von dem Leitungsvermögen, der Wärmecapacität und dem specifi-

schen Gewichte, und zwar von den beiden letzteren im umgekehrten Verhältniß; wie vom ersteren.

Ebenso läßt sich das Fortschreiten bestimmter Temperaturen in jedem andern speciellen Falle untersuchen. Aus den mitgetheilten Formeln ist schon zu ersehen, daß für die Fortpflanzung einer bestimmten Temperatur von einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem Sinne, wie sie beim Schall vorkommt, nicht zu reden ist, da sich die Geschwindigkeit von Punkt zu Punkt der Zeit oder des Weges ändert und außerdem noch abhängig ist von der ursprünglichen Vertheilung der Wärme in dem Körper.

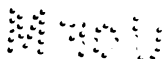
Nachdem das Gesetz der Temperaturbewegung ermittelt ist, bleibt jetzt noch eine Frage, die nach der Bewegung der Wärme überhaupt. Um deutlich zu seyn, will ich diese Frage wieder an den besprochenen concreten Fall anknüpfen. Ich stelle sie dann in folgender Weise: Wann tritt an irgend einem Orte des Stabes der Einfluß der am Ende hervorgerufenen Temperaturerhöhung auf? Oder, wie weit langt dieser Einfluß binnen einer bestimmten Zeit? Welche Bewegung macht er und ist diese eine gleichförmige, wie groß ist dann die Geschwindigkeit derselben, oder wie ich sie nenne, *wie groß ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme?*

Auf diese Frage, welche ich zuerst in meinen Bemerkungen zur Theorie der Gase gestellt und zu beantworten gesucht habe, liefert die Fourier'sche Theorie eine widersinnige Antwort. Betrachten wir nämlich die Formel (2) und fragen, für welche Zeit an einem bestimmten Orte des Stabes noch keine Temperatur vorhanden ist, d. h. fragen wir nach jener Combination von Werthen der Größen x und t , für welche $u = 0$ wird, so erhalten wir zur Antwort die Gleichung

$$\frac{x}{2\sqrt{kt}} = x,$$

weil nur

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\eta^2} d\eta = 1$$



ist. Dieser Gleichung kann aber für endliche x nur durch die Annahme $t = 0$, für endliche t nur durch die Annahme $x = \infty$ genügt werden. Die Formel (2) besagt also, daß eine Temperaturerhöhung plötzlich an allen Orten des Stabes auftrete, daß die Wärme mit unendlich großer Geschwindigkeit sich fortpflanze.

Dieses der Natur widersprechende Resultat liefert die Theorie nicht bloß in dem speciellen betrachteten Falle, sondern auch im allgemeinsten, wenn die anfängliche Temperaturvertheilung im Stabe eine ganz beliebige ist. Ist nämlich die anfängliche Temperaturvertheilung in einem unendlichen Stabe gegeben durch die Bedingungsgleichung

$$u = f(x) \text{ für } t = 0,$$

so hat das Integral der Gleichung (1), welches dieser Bedingung genügt, die Form

$$u = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\eta^2} f(x + 2\eta \sqrt{kt}) d\eta \quad (3)$$

Will man mittelst dieser Formel die Temperatur an irgend einem Orte des Stabes für irgend eine Zeit bestimmen, so muß man dazu die Function, welche die anfängliche Temperaturvertheilung giebt, für alle Werthe der Variablen, welche zwischen $-\infty$ und $+\infty$ liegen, kennen. Es ist daher die Temperatur jeder Stelle zu jeder Zeit abhängig gemacht von den Temperaturen an allen übrigen Orten des Stabes. Die Temperatur an jedem Orte übt daher zu jeder Zeit ihren Einfluß über unendliche große Strecken aus, d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme ist unendlich groß.

Auch das Experiment hat bisher noch gar kein Datum geliefert, welches eine Antwort auf die gestellte Frage enthält. Eine Erledigung dieser Frage ist aber besonders jetzt von Wichtigkeit, nachdem durch die mechanische Theorie der Wärme und namentlich durch die neuere Ansicht über die moleculare Constitution der Gase das Wesen der Wärme mit dem des Schalles in so innige Ver-

bindung gebracht worden ist. Obwohl die Frage durch diese Verbindung aufgedrängt werden mußte, hat man sich mit ihr doch noch nicht beschäftigt. Man hat zwar aus der neuen Theorie der Wärme schon gefolgert, daß sich die Wärme so schnell fortpflanzen müsse, wie der Schall, hat aber diese Folgerung als der Erfahrung schnurstracks widerstreitend angesehen, und sogar als Waffe gegen die neue Theorie benutzt. Man hatte eben den Begriff der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme noch nicht, und verwechselte ihn mit dem des Leitungsvermögens.

Im Folgenden will ich das allgemeine Problem der linearen Fortpflanzung der Wärme in einer andern Weise als es Fourier gethan, behandeln; zunächst zeigen, daß die Wärme gleichförmig wie der Schall sich fort bewegt, und dann eine Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme ableiten.

Denken wir uns einen unendlich ausgedehnten Körper durch sehr nahe an einander liegende parallele Ebenen in gleich dicke Schichten zerschnitten und in ihm die Wärme so vertheilt, daß an allen Orten einer und derselben Schicht die gleiche Temperatur herrscht, und eine Aenderung der Temperatur nur von Schicht zu Schicht stattfindet. Zwischen den ungleich warmen Schichten besteht ein fortwährender Austausch von Wärme, dieser ist nach dem ganzen Bereiche einer Schicht gleich groß, wenn der Körper durchaus gleichartig ist. Wenn nun für irgend einen Zeitpunkt die Vertheilung der Temperatur in dem Körper gegeben ist, so ist selbe dadurch auch für jeden andern Zeitpunkt bestimmt; auf welche Weise, haben wir zu suchen.

Die Schichten des Körpers will ich von einer bestimmten an zählen, eben so die unter einander gleichen Abschnitte, in welche ich mir die Zeit getheilt denke. Die Temperatur einer Schicht bezeichne ich mit t und um anzuzeigen, für welche Schicht und für welchen Zeitpunkt sie gilt, will ich α mit der Nummer der Schicht als unterem, mit der Nummer des Zeittheilchens als oberem Index bezeichnen, so daß a_r^t die Temperatur der r^{ten} Schicht am Ende des t^{ten} oder am Anfang des $(r + 1)^{\text{ten}}$ Zeittheilchens

bedeutet. Die zu lösende Aufgabe ist demnach folgende:
Es sind

$\dots a_{-3}^{(r)}, a_{-2}^{(r)}, a_{-1}^{(r)}, a_0^{(r)}, a_1^{(r)}, a_2^{(r)}, a_3^{(r)}, \dots$
zu bestimmen durch die Größen

$\dots a_{-3}^{(0)}, a_{-2}^{(0)}, a_{-1}^{(0)}, a_0^{(0)}, a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, a_3^{(0)}, \dots$

Drei beliebige auf einander folgende Schichten, von denen die mittlere die n^{te} seyn soll, haben am Ende des $(r-1)^{\text{ten}}$ Zeittheilchens die Temperaturen

$$a_{n-1}^{(r-1)}, a_n^{(r-1)}, a_{n+1}^{(r-1)}.$$

Im Laufe des r^{ten} Zeittheilchens ändert sich die Temperatur der n^{ten} Schicht, weil sie sich in Wärmeaustausch mit den beiden Nachbarschichten befindet. Um dieses Correspondiren jeder Schicht mit den zwei angränzenden bequem darstellen zu können, will ich jede Schicht in zwei Hälften theilen und voraussetzen, daß jede Halbschicht nur mit der ihr zunächst liegenden und anders temperirten Halbschicht in Wärmeaustausch tritt. Ein Zeittheilchen soll nun so groß gewählt werden, daß nach dem Verlauf der Hälfte desselben die Temperaturen zweier solcher Halbschichten ausgeglichen sind. Nach Verlauf der ersten Hälfte des r^{ten} Zeittheilchens sind demnach die Temperaturen der sechs in Betracht gezogenen Halbschichten:

$$\frac{a_{n-2}^{(r-1)} + a_{n-1}^{(r-1)}}{2}, \frac{a_{n-1}^{(r-1)} + a_n^{(r-1)}}{2}, \frac{a_n^{(r-1)} + a_{n+1}^{(r-1)}}{2},$$

$$\frac{a_n^{(r-1)} + a_{n+1}^{(r-1)}}{2}, \frac{a_{n+1}^{(r-1)} + a_{n+2}^{(r-1)}}{2}, \frac{a_{n+2}^{(r-1)} + a_{n+3}^{(r-1)}}{2}.$$

Während der zweiten Hälfte des r^{ten} Zeittheilchens treten die einer und derselben Schicht zugehörigen Hälften in Austausch, so, daß die Temperatur der n^{ten} Schicht am Ende des r^{ten} Zeittheilchens

$$a_{n-1}^{(r-1)} + 2a_n^{(r-1)} + a_{n+1}^{(r-1)}$$

wird. Da wir diese Temperatur nach den eingeführten Bezeichnungen durch $a_n^{(r)}$ ausdrücken können, so haben wir die Gleichung

$$4a_n^{(r)} = a_{n-1}^{(r-1)} + 2a_n^{(r-1)} + a_{n+1}^{(r-1)} \quad (4).$$

Drückt man nach dieser Formel die Temperaturen $a^{(r-1)}$ durch $a^{(r-2)}$ aus, so erhält man

$$16 a_n^{(r)} = \binom{4}{0} a_{n-3}^{(r-2)} + \binom{4}{1} a_{n-1}^{(r-2)} + \binom{4}{2} a_n^{(r-2)} \\ + \binom{4}{3} a_{n+1}^{(r-2)} + \binom{4}{4} a_{n+3}^{(r-2)}$$

und dieselbe Art der Substitution fortsetzend, gelangt man schliesslich zu der Formel

$$2^r a_n^{(r)} = \binom{2r}{0} a_{n-r}^{(0)} + \binom{2r}{1} a_{n-r+1}^{(0)} + \dots + \binom{2r}{2r} a_{n+r}^{(0)} \quad (5)$$

Die gestellte Aufgabe ist somit gelöst. Es handelt sich nur noch darum, die Beziehung zwischen der Dicke einer Schicht und der Grösse eines Zeittheilchens festzustellen, denn die Wahl derselben ist nicht willkürlich, weil die Grösse eines Zeittheilchens an die Bedingung geknüpft wurde, dass während der Hälfte eines solchen der Temperatureausgleich zwischen zwei Halbschichten vollkommen bewerkstelligt werden soll.

Sey λ die Dicke einer Schicht, τ die Grösse eines Zeittheilchens, c die spezifische Wärme des Körpers, s sein spezifisches Gewicht, so tritt durch die Flächeneinheit aus der n^{ten} Schicht in die $(n+1)^{\text{te}}$ während des τ^{ten} Zeittheilchens die Wärmemenge

$$\frac{cs\lambda}{2} \left(a_n^{(r-1)} - \frac{a_n^{(r-1)} + a_{n+1}^{(r-1)}}{2} \right) = \frac{cs\lambda}{4} (a_n^{(r-1)} - a_{n+1}^{(r-1)}).$$

Würde der Temperaturunterschied zwischen der n^{ten} und $(n+1)^{\text{ten}}$ Schicht durch die Zeiteinheit constant gehalten und zwar gleich dem sovielten Theile eines Celsius-Grades, der wievielte Theil der Längeneinheit die Dicke einer Schicht ist, so wäre die von der n^{ten} zur $(n+1)^{\text{ten}}$ Schicht durch die Flächeneinheit in der Zeiteinheit gehende Wärmemenge nichts anderes, als jene Grösse, welche man das Wärmeleitungsvermögen des Körpers nennt. Bezeichnen wir dieses mit K , so ist dem zu Folge

$$K = \frac{cs\lambda^2}{4\tau} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

Die Formel (2) zeigt, daß die Temperatur der n^{ten} Schicht am Ende des r^{ten} Zeittheilchens vollständig bestimmt ist, wenn die Anfangstemperaturen der n vorangehenden und der r nachfolgenden Schichten gegeben sind. In jedem Zeittheilchen τ rückt der Einfluß der Anfangstemperatur einer Schicht auf die Temperaturen der übrigen um eine Schicht, also um das Stück λ weiter, das Fortschreiten der Wärme geschieht in gleichförmiger Bewegung und der Quotient aus λ und τ giebt somit die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme. Man erhält aus (6)

$$\frac{\lambda^2}{\tau^2} = \frac{4K}{cs\tau} \quad (7)$$

Ich will nun noch zeigen, daß die durch die Gleichung (5) gegebene Lösung unseres Problems in dieselbe Form gebracht werden kann, in welcher sie Fourier in seiner Theorie dargestellt hat. Statt der Formel (5) können wir kürzer schreiben

$$a_n^{(r)} = \sum_{k=-r}^{k=+r} \frac{1}{2^{2r}} \left(\frac{2r}{r+k} \right) a_{n+k}^{(0)} \quad . . . (8).$$

Nehmen wir an, r habe einen sehr großen Werth, so ist die Gränze, welcher sich der r enthaltende Factor hinter dem Summenzeichen für wachsende r nähert

$$\sqrt{\frac{2}{(2r+1)\pi}} e^{-\frac{k^2}{r}}$$

Demnach geht die Formel (8) über in

$$a_n^{(r)} = \sum_{k=-r}^{k=+r} \sqrt{\frac{2}{(2r+1)\pi}} e^{-\frac{k^2}{r}} a_{n+k}^{(0)} \quad . . (9)$$

Die anfänglichen Temperaturen in den verschiedenen Schichten des Körpers seyen gegeben durch eine continuirliche Function des Abstandes jeder Schicht von der ersten, so daß

$$a_0^{(0)} = f(0), \quad a_1^{(0)} = f(\lambda), \quad a_2^{(0)} = f(2\lambda), \quad$$

also

$$a_{n+k}^{(0)} = f(n\lambda + k\lambda)$$

ist. Nennen wir den Abstand der n^{ten} Schicht von der ersten x , so ist dann

$$\alpha_{n+\lambda}^{(0)} = f(x + h\lambda) \quad (10)$$

Die Zeit, welche r Zeittheilchen von der Grösse τ begreift, heisse t , also $t = r\tau$ und wegen der Formel (6)

$$r = \frac{4Kt}{c\lambda^2} = \frac{4Kt}{\lambda^2} \quad (11)$$

wenn der Kürze wegen

$$k = \frac{K}{c\tau}$$

gesetzt wird. Setzt man noch in (9) $2r$ an die Stelle von $2r+1$, was wegen der Grösse von r erlaubt ist, so verwandelt sich diese Gleichung nach Berücksichtigung von (10) und (11) in

$$\alpha_n^{(r)} = \frac{1}{2\sqrt{\pi kt}} \sum_{h=-r}^{h=+r} e^{-\frac{h^2 \lambda^2}{4kt}} f(x + h\lambda) \cdot \lambda \quad (12)$$

wofür wir, r unendlich gross und demgemäss λ unendlich klein voraussetzend, schreiben können

$$u = \frac{1}{2\sqrt{\pi kt}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{4kt}} f(x+z) dz$$

wenn wir die Temperatur der n^{ten} Schicht am Ende des r^{ten} Zeittheilchens, oder was jetzt dasselbe ist, die Temperatur in der Ebene, deren Abscisse x ist, zur Zeit t mit u bezeichnen. Führt man eine neue Variable

$$\eta = \frac{x}{2\sqrt{kt}}$$

ein, so verwandelt sich das obige Integral in das in der Formel (3) mitgetheilte.

Die Formeln (4) und (5) sind auch sehr geeignet zur numerischen Berechnung, und liefern auf eine sehr einfache Weise in jedem speciellen Falle eine klare Vorstellung von der Wärmevertheilung in einem Körper. Hat z. B. dieser ursprünglich in allen Schichten dieselbe Temperatur, welche zum Nullpunkt der Thermometerscale ge-

wählt wird, und wird dann plötzlich die Temperatur einer etwa der 0^{ten} Schicht um einen Grad erhöht, so sind in der Formel (5) alle a der Null gleich zu setzen, bis auf a_0 , dessen Werth die Einheit ist. Es ist also nur das einzige a_n enthaltende Glied beizubehalten, wonach

$$2^{2n} a_n^{(r)} = \left(\frac{2^r}{r-n} \right)$$

wird. Man erhält daraus folgende Tafel.

0	0	0	1	0	0	0	
0	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	0	
0	$\frac{1}{16}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{6}{16}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{1}{16}$	0	
$\frac{1}{64}$	$\frac{6}{64}$	$\frac{15}{64}$	$\frac{20}{64}$	$\frac{15}{64}$	$\frac{6}{64}$	$\frac{1}{64}$	

welche die Temperaturvertheilung zu Anfang und zu Ende des ersten, zweiten, dritten Zeittheilchens u. s. f. darstellt.

Aus dieser Tafel sieht man auch unmittelbar, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme mit der Bewegung einer bestimmten, constanten Temperatur, nichts zu thun hat. Diese Bewegung ist schon oben als ungleichförmig erkannt worden. Die gleichförmig fortschreitende Temperatur, deren Geschwindigkeit die der Wärme Fortpflanzung ist, ist eine variable, mit wachsendem Wege und somit auch mit wachsender Zeit abnehmende.

Dieselben Principien lassen sich auch anwenden auf die Erscheinungen der Diffusion, nur tritt dann an die Stelle der Temperatur der Begriff Concentration, an die Stelle des Wärmeleitungsvermögens der ähnlich zu definirende Begriff des Diffusionsvermögens, an die Stelle der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme die Geschwindigkeit des Fortschreitens der diffundirenden Theilchen.

Zur Ableitung der Formel (4) und der ans ihr gefolgerten war es nicht nothwendig, von einer bestimmten Ansicht über das Wesen der Wärme auszugehen. Es genügte, die aus der Erfahrung bekannte Eigenthümlichkeit der

Wärmefortpflanzung, daß zwei auf einander folgende ungleich erwärmte Schichten eines Körpers den Ausgleich ihrer Temperatur anstreben, in Anwendung zu bringen. Es dürfte jedoch nicht überflüssig seyn, von einer bestimmten Vorstellung von dem Wesen der Wärme ausgehend, nach den Gründen dieser Eigenthümlichkeit zu sehen, und zugleich Anhaltspunkte zu gewinnen, wie die Formeln (6) und (7) zu numerischen Berechnungen des Wärmeleitungsvermögens und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme verwendet werden könnten.

Eine genauere Vorstellung haben wir nur von dem Wesen der Wärme in Gasen, weshalb ich die folgenden Betrachtungen zunächst auf diese Körper beschränke. Denken wir uns also ein unendlich ausgedehntes Gas durch parallele Ebenen in sehr dünne Schichten getheilt. Jede solche Schicht beherbergt auch in einem endlichen Theil eine sehr große Anzahl von Moleculen, welche sich nach allen möglichen Richtungen fortschreitend bewegen und beim Zusammenstoße unter einander wie elastische Kugeln sich verhalten. Die mittlere lebendige Kraft eines Moleculs mißt die Temperatur in dieser Schicht, sie soll nach dem ganzen Bereiche dieser Schicht dieselbe seyn. Sind die verschiedenen Schichten ungleich temperirt, so wird der Wärmeaustausch zwischen denselben auf die Weise vermittelt, daß aus jeder Schicht fortwährend Moleculle in die Nachbarschichten übertreten, dort mit anderen Moleculen zum Zusammenstoße gelangen, und so die Mittheilung der lebendigen Kraft von einer Schicht an die andere bewerkstelligen.

Wir haben daher zunächst zu suchen, in welcher Weise der Austausch der lebendigen Kräfte zweier zusammenstoßender elastischer Kugeln geschieht. Die beiden vollkommen elastischen Kugeln *A* und *B* sollen gleiche Massen besitzen und mit den Geschwindigkeiten α und β zusammenstoßen. Mit der Linie, welche die Mittelpunkte beider Kugeln im Augenblicke des Zusammenstoßes verbindet, sollen diese zwei Geschwindigkeiten die Winkel α und β

bilden. Nach dem Stosse seyen die beiden Geschwindigkeiten a' und b' , die Winkel, welche diese mit der Centrallinie bilden, α' und β' ,

Zerlegen wir jede der Geschwindigkeiten a und b in zwei Componenten, von denen eine mit der Centrallinie gleich gerichtet, die andere darauf senkrecht steht, so tauschen sich die in die Centrallinie fallenden Componenten beim Zusammenstosse vollständig um, während von den beiden andern jede der Kugel bleibt, welcher sie vor dem Stosse schon gehörte. Bezeichnen wir die in die Centrallinie fallenden Componenten der Geschwindigkeit mit a_1 , b_1 , die darauf senkrechten mit a_2 , b_2 und eben so die Componenten der Geschwindigkeiten nach dem Stosse beziehungsweise mit a'_1 , b'_1 und a'_2 , b'_2 , so haben wir

$$a'_1 = b_1, a'_2 = a_2, b'_1 = a_1, b'_2 = b_2$$

somit

$$a'^2 = a'^2_1 + a'^2_2 = b_1^2 + a_2^2 = a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \cos^2 \beta$$

$$b'^2 = b'^2_1 + b'^2_2 = a_1^2 + b_2^2 = a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \beta$$

Wenn man für α und β alle möglichen Werthe, welche zwischen 0 und $\frac{\pi}{2}$ liegen, setzt, und aus allen so erhaltenen Resultaten das Mittel nimmt, indem man jede der voranstehenden Gleichungen mit $d\alpha d\beta$ multiplicirt, nach jeder dieser Variablen von 0 bis $\frac{\pi}{2}$ integrirt und das Resultat durch $\frac{\pi^2}{4}$ dividirt, so erhält man

$$a'^2 = b'^2 = \frac{a^2 + b^2}{2},$$

d. h. stoßen unendlich viele Kugeln A mit den Geschwindigkeiten a gegen gleich viele Kugeln B mit den Geschwindigkeiten b , und theilen sich die Zusammenstöße in alle möglichen Richtungen gleichmäÙig, so ist die Summe der lebendigen Kräfte der Kugeln A nach dem Stosse eben so groß als die Summe der lebendigen Kräfte der Kugeln B .

Was die Richtungen zweier Kugeln nach dem Zusammenstosse betrifft, so bleibt jede Kugel in der Ebene des Winkels, welchen die Richtung ihrer Bewegung vor dem

Stöße mit der Centrallinie bildet. Die Winkel α' und β' sind bestimmt durch die Gleichungen

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{a \sin \alpha}{b \cos \beta}, \quad \operatorname{tg} \beta' = \frac{b \sin \beta}{a \cos \alpha},$$

woraus sich die Relation

$$\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha' \operatorname{tg} \beta'$$

ergiebt.

Die Uebertragung dieses für den Stoß elastischer Kugeln gefundenen Resultates auf die Stöße der Gasmoecüle ist jedoch nicht in aller Strenge richtig. Denn wie Clausius nachgewiesen hat, ist die lebendige Kraft, welche in den fortschreitenden Bewegungen der Gasmoecüle liegt, nicht der ganzen im Gase enthaltenen Wärmemenge, sondern nur einem Theile derselben äquivalent. Es müssen daher außer den fortschreitenden Bewegungen der Moecüle noch andere vorhanden seyn, wie Rotationen der Moecüle oder Bewegungen der Atome des Moecüls gegen einander. Wie sich die Bewegungen zwischen den zusammenstoßenden Moecülen austauschen, müßte noch besonders untersucht werden. Vor der Hand können wir auch für diese obiges Gesetz als bestehend voraussetzen und annehmen, daß, wenn alle Gasmoecüle einer Schicht, welche sich nach einer Seite derselben hin bewegen, mit allen Gasmoecülen der folgenden Schicht, welche sich ihnen entgegen bewegen, zum Zusammenstoße gelangen, ein Ausgleich der lebendigen Kräfte zwischen ihnen stattfindet.

Um den Vorgang der Wärmeleitung den Voraussetzungen, welche zur Aufstellung der Formel (4) geführt haben, gemäß darzustellen, wählen wir die Dicke einer Schicht, gleich dem doppelten mittleren Wegd, welchen ein Gasmoecül in der zu den Schichtenebenen senkrechten Richtung von einem bis zum nächsten Zusammenstoße durchläuft. Wir können dann der Einfachheit wegen die Sache so betrachten, als ob die Zusammenstöße nur in den Gränzebenen und in der Mitte der Schichten stattfinden würden.

In jeder der Halbschichten haben wir dann zweierlei Moecüle zu unterscheiden, nach rechts und nach links be-

wegte, d. h. solche, deren Geschwindigkeit nach der zu den Schichtenebenen senkrechten Richtung eine nach rechts und links gehende Componente liefert. In der ersten Hälfte der n^{ten} Schicht sollen in dem Augenblicke nach dem Stattfinden der Zusammenstöße die nach rechts gehenden die lebendige Kraft R_n , die nach links gehenden die lebendige Kraft L_n besitzen, für die zweite Hälfte der n^{ten} Schicht haben r_n und l_n dieselben Bedeutungen. Für die $(n-1)^{\text{te}}$ Schicht sollen R_{n-1} , L_{n-1} , r_{n-1} , l_{n-1} , für die $(n+1)^{\text{te}}$ hingegen R_{n+1} , L_{n+1} , r_{n+1} , l_{n+1} die analogen Bedeutungen haben.

Nach Verlauf der Zeit, in welcher ein Molecül im Mittel eine Halbschicht durchläuft, treten wieder Zusammenstöße ein und die Größen R_n , L_n , r_n , l_n verwandeln sich in L'_n , R'_n , l'_n , r'_n . Nach nochmaligem Verlaufe dieser Zeit finden neuerdings Zusammenstöße statt und letztere Größen verwandeln sich in R''_n , L''_n , r''_n , l''_n . Die Molecüle haben dann alle wieder dieselben Bewegungsrichtungen, wie zu Anfang.

Nach dem obigen Grundsatz haben wir

$$\begin{aligned} L'_n &= \frac{R_n + l_n}{2}, & R'_n &= \frac{L_n + R_{n-1}}{2} \\ l'_n &= \frac{r_n + L_{n+1}}{2}, & r'_n &= \frac{l_n + R_n}{2} \\ R''_n &= \frac{L'_n + r'_{n-1}}{2}, & L''_n &= \frac{R'_n + l'_n}{2} \\ r''_n &= \frac{l'_n + R'_n}{2}, & l''_n &= \frac{r'_n + l'_{n+1}}{2} \end{aligned}$$

Die Temperatur der n^{ten} Schicht zu Anfang der Zeit ist zu messen durch

$$\frac{R_n + L_n + r_n + l_n}{4},$$

die Temperatur derselben Schicht am Ende obiger Zeit durch

$$\frac{R''_n + L''_n + r''_n + l''_n}{4},$$

und ähnlich verhält es sich mit den Temperaturen der $(n-1)^{\text{ten}}$ Schicht. Drückt man die mit zwei Strichen bezeichneten Größen mittelst der obigen und der beiden Formeln

$$r'_{n-1} = \frac{l_{n-1} + R_{n-1}}{2}, \quad L'_{n+1} = \frac{R_{n+1} + l_{n+1}}{2}$$

durch die ohne Striche aus, so gelangt man zur Formel (4).

Diese Betrachtungen sollen dazu dienen, ein Bild von dem Vorgange der Wärmeleitung in Gasen zu liefern, welches jedoch genügt, die bei Ableitung der Formel (4) gemachten Voraussetzungen zu erläutern. Sie können aber auch zur weiteren Bestimmung des Wärmeleitungsvermögens und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme in gasförmigen Körpern benutzt werden.

Nennen wir den mittleren Weg, welchen ein Gasmoecül von einem bis zum nächsten Zusammenstosse macht, ε . Die Bewegungsrichtung dieses Moecüls bilde mit der Normalen zu den Schichtenebenen den Winkel φ . Wären nur Moecüle von dieser Bewegungsrichtung vorhanden, so wäre in (6) $\lambda^2 = 4\varepsilon^2 \cos^2 \varphi$ zu setzen. Da aber Moecüle von allen möglichen Bewegungsrichtungen vorhanden sind, so haben wir den Mittelwerth für λ^2 zu nehmen. Die Anzahl der Moecüle in einem begrenzten Raume, welche mit der Normale Winkel bilden, die zwischen φ und $\varphi + d\varphi$ liegen, verhält sich zur Gesamtanzahl der Moecüle wie $2\pi \sin \varphi d\varphi$ zu 4π nämlich wie der Inhalt einer Kugelzone vom Radius $\sin \varphi$ und der Breite $d\varphi$ zur Oberfläche der Kugel vom Radius 1. Der Mittelwerth von λ^2 wird daher gefunden, wenn man

$$8\pi\varepsilon^2 \int_{+0}^{+\pi} \cos^2 \varphi \sin \varphi d\varphi$$

durch 4π dividirt. Der Werth des Integrals ist $\frac{2}{3}$, folglich bleibt

$$\lambda^2 = \frac{4\varepsilon^2}{3}.$$

Setzen wir diesen Werth in die Formel (6), so folgt

$$K = \frac{cs\epsilon^2}{3\tau}$$

oder da τ die doppelte Zeit ist, in welcher ein Molecül den Weg von einem bis zum nächsten Zusammenstosse zurücklegt, also

$$\tau = \frac{2\epsilon}{u}$$

wenn u die Geschwindigkeit des Molecüls bedeutet, so wird

$$K = \frac{csu\epsilon}{6} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Die Formel (7) verwandelt sich in

$$\frac{\lambda^2}{\tau^2} = \frac{u^2}{3}.$$

Die Geschwindigkeit u eines Gasmolecüls kann man mittelst der folgenden aus der neuen Theorie der Gase abgeleiteten Formel

$$pv = \frac{nm u^2}{3}$$

berechnen, worin p den Druck, v das Volumen des Gases n die Anzahl der in diesem Volumen enthaltenen Molecüle, m die Masse eines Molecüls bedeutet. Setzen wir $v = 1$, so ist dann $nm = \rho$ die Dichte des Gases, also

$$\frac{u^2}{3} = \frac{p}{\rho}.$$

Setzen wir diesen Werth in die Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme, so folgt.

$$\frac{\lambda}{\tau} = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$$

und diese Formel ist die von Newton für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles abgeleitete.

Wir können die im Vorhergehenden gemachten einfachen Betrachtungen als erste Approximation an die Wahrheit ansehen und schließen: *Die Wärme pflanzt sich fort durch Strahlung mit der Geschwindigkeit des Lichtes, durch Leitung mit der Geschwindigkeit des Schalles.*

**V. Ueber die Vertheilung des Magnetismus in
weichen prismatischen Eisenstäben die an das
Ende eines Magnetstabs angelegt sind;
von G. Wehrich,**

Gymnasialrecessist.

Die Vertheilung des Magnetismus in den Ankern ist bis jetzt sowohl in theoretischer wie experimenteller Hinsicht fast nicht untersucht worden. Und doch ist diese Frage nicht allein für die Theorie des Magnetismus, sondern auch besonders für die physikalische Praxis überall da, wo ein Magnet nicht direct angewandt werden kann, sondern statt dessen durch einen Anker der Magnetismus gleichsam fortgeleitet werden muß, von grosser Wichtigkeit. Zur Ausfüllung dieser Lücke einen kleinen Baustein herbeizutragen ist der Zweck nachfolgender Zeilen.

Im 74. Band dieser Annalen S. 226 gab R. van Rees eine Erklärung der vorher fast als ein Paradoxon betrachteten Erscheinung, die man wahrnimmt, wenn ein weicher Eisenstab allmählig dem einen Ende eines Magnetes bis zur Berührung genähert wird. Nach dieser Erklärung läßt sich leicht die Form der Vertheilung des freien Magnetismus ermitteln und zwar auf dieselbe Weise, wie es Biot ¹⁾ für einen Magnetstab that. Macht man auch hier die Annahme, daß der Magnetismus sich von Theilchen zu Theilchen in dem constanten Verhältniß $1:\mu_0$ ändere, so findet man für den freien Magnetismus y an der Stelle, die um x vom Berührungspunkt entfernt ist $y = a\mu'$ und nach jenen bekannten Satz (Rees, diese Ann. Bd. 70, S. 1 u. ff.) das magnetische Moment $z = A\mu' + C$. Diese einfachen Formeln haben aber nur dann Gültigkeit, wenn es wahr ist, daß der Magnetismus für die ganze Länge des Eisenstabes sich in jenem constanten Verhältniß ändert. Diese Annahme aber ist identisch mit der, daß das weiche Eisen

1) *Traité III*, 76.

auch nicht den geringsten Widerstand der durch den Magnet bewirkten Richtung seiner Molecularmagnete entgegenseetze d. h. mit andern Worten, auch nicht die geringste Coërcitivkraft besitze. Diefß ist aber in Wirklichkeit nie der Fall; es gelten somit auch jene Formeln nur für einen, um mich so auszudrücken, idealen weichen Eisenzustand und sie werden um so gröfsere Annäherungen bieten, je mehr sich das betreffende weiche Eisen diesem idealen Zustand nähert, d. h. je weniger Coërcitivkraft dasselbe besitzt. Es werden uns ferner jene Formeln die freien Magnetismen resp. Momente an den Stellen, die nicht gar weit von der Berührungsstelle entfernt sind, richtiger angeben, als an weiter abstehenden Punkten. Was die wahre Formel der Vertheilung anbelangt, so ist an Regnault's Worte (*Relations des expériences etc. p. 409—410*) in Betreff des Mariotte'schen Gesetzes zu erinnern: *Malheureusement cette relation est trop complexe pour qu'on puisse espérer de la trouver uniquement par la methode expérimentale. Il est à désirer que les géomètres veuillent bien chercher la forme de cette fonction etc.*

Hat man sich so von dem wahren Werth der obigen Formeln Rechenschaft gegeben, betrachtet man sie zunächst nur als Annäherungen, die um so besser sind, je weicher das Eisen ist, so wird es doch möglich seyn, sie experimentell zu prüfen. Sie gelten nun nicht allein für Eisenstäbe, die 1) an Stahl- oder 2) an Elektromagnete angelegt sind, sondern auch 3) für die Stellen eines weichen Eisenstabes, die nicht unmittelbar unter der Magnetisirungspirale sich befinden, da dieser Theil als ein den Magnet aufs innigste berührender Anker anzusehen ist. Für den ersten Fall haben wir bis jetzt nur eine einzige Versuchsreihe von R. van Rees, die jedoch, wie er selbst bemerkt, wegen geringer Sorgfalt der Ausführung zu einer Berechnung nicht anwendbar ist. Für den zweiten Fall ist meines Wissens noch kein Versuch angestellt; für den dritten sind von einigen Physikern Beobachtungen gemacht, hauptsächlich von Lenz und Jacobi (d. Ann. Bd. 61, S. 459),

welche die Vertheilung mittelst einer Inductionsspirale bestimmten. Die Beobachtungen zeigen eine ziemlich gute Uebereinstimmung mit der Formel

$$\log \sin \frac{1}{2} \alpha = 0,93844 - 1 + x(0,98049 - 1)$$

wodurch also von dieser Seite her die obige Formel bestätigt wird.

Durch die Güte des Hrn. Prof. Buff hatte ich Gelegenheit im physikalischen Cabinet zu Gießen die magnetische Vertheilung in den Ankern, soweit es meine Mufse gestattete, zu untersuchen. Die Methode, die ich dabei anwandte, ist die mittelst Erregung magneto-elektrischer Ströme; Gründe, warum ich mich ihrer bediente, brauche ich wohl nicht anzuführen. Die benutzte Inductionsspirale bestand aus mehreren Windungen eines 2 Cm. breiten Kupferstreifens. Die Beobachtungen wurden an einem ausgezeichneten Galvanometer gemacht, das in ganze Grade eingetheilt war, wobei man auf 0°,1 genau schätzen konnte. Ehe ich jedoch die Versuche begann mußte ich mir Gewissheit verschaffen, wie weit ich mich auf das Galvanometer verlassen und die Genauigkeit meiner Versuche treiben könne. Diefes suchte ich dadurch zu erreichen, daß ich die Richtigkeit der zum Messen der Inductionsströme dienenden Formel $\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{k}{\varrho}$ experimentell auf dieselbe Weise prüfte, wie es auch von Rees geschehen ist. Ich setzte nämlich $\varrho = r + R$, wo r der Widerstand der Schließung usw. und R ein veränderlicher, durch einen Wheatstone'schen Stromsteller bestimmter Widerstand ist. Der Inductionsstrom wurde erzeugt, indem die Rolle von der Mitte eines Magnets abgezogen wurde. Das Galvanometer wurde hier wie bei allen folgenden Versuchen auf zwei Seiten (in den einzelnen Tabellen mit I und II bezeichnet) beobachtet, was dadurch geschah, daß man die Drähte wechselte, wodurch die Richtung der Ströme umgekehrt wurde. Die erhaltenen Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

$$\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{k}{r+R}$$

$$k = 0,89795$$

$$r = 4,4336.$$

Windungen des Rheostats R	r+R	Beobachtet α		Mittel α	Berechnet α	Δα
		I.	II.			
0	4,4336	23,2	23,2	23° 16'	23° 22'	— 6'
		23,3	23,3			
		23,3	23,3			
		23,3	23,2			
2	6,4336	16,0	16,1	16° 0'	16° 2'	— 2'
		16,0	16,0			
		15,1	15,9			
		16,1	16,0			
5	9,4336	11,0	11,1	11° 3'	10° 56'	+ 7'
		10,9	10,0			
		11,0	11,1			
		11,1	11,1			
8	12,4336	8,3	8,3	8° 18'	8° 16'	+ 2'
		8,2	8,3			
		8,4	8,2			
		8,3	8,3			
12	16,4336	6,1	6,0	6° 11'	6° 16'	— 5'
		6,2	6,2			
		6,2	6,2			
		6,2	6,3			

Die Rolle wurde hier wie bei allen andern Versuchen so weit abgeschoben, bis eben der Magnetismus auf dieselbe keinen meßbaren Einfluß mehr hatte. Die Entfernung, in der das Stabende gerade aufhörte, auf die Rolle noch eine Wirkung zu äußern, wurde durch Versuche bestimmt; die Rolle wurde dann immer noch etwa 10 Ctm. weiter herausgeschoben und zwar dies so schnell, als es eben nur ging, damit die Wirkung des erregten Inductionsstroms die Galvanometernadel möglichst senkrecht treffe. Außerdem bemühte ich mich, die Mitte der Inductionsrolle genau auf die betreffende Stelle des Stabes zu bringen. Bei allen diesen Vorsichtsmafsregeln ersieht man aus vorstehender Tabelle, daß die Beobachtungsfehler sich bis zu 0,1° bis 0,2° erstrecken; ja bei den spätern Versuchen sind sicherlich ihre Gränzen bis zu 0,3° auszudehnen.

Nachdem ich mir hierüber Rechenschaft gegeben hatte, ging ich an die Untersuchung der magnetischen Vertheilung in den als Anker dienenden Eisenstäben. Hier galt es zunächst, eine innige Berührung mit dem Magnet herbeizuführen, was dadurch erreicht wurde, daß beide Theile auf einander abgeschliffen wurden. Das aus dem Magnet und dem ihn berührenden Eisen bestehende System lag in einer etwa 7' langen Rinne von festem Holz, welche gerade in die Oeffnung der Inductionsrolle paßte, so daß letztere darauf wie auf Schienen lief, welche Einrichtung wesentlich zur Genauigkeit der Versuche beitrug. Die Rinne lag eingeklemmt auf zwei oder nach Bedürfnis auch auf drei gleich hohen Tischchen und zwar senkrecht gegen die Richtung des magnetischen Meridians, um jeden Einfluß des Erdmagnetismus zu beseitigen. Lagen an dem Magnet auf beiden Seiten Eisenstäbe, so wurde zur Unterstützung der Mitte der Rinne noch ein Tischchen zugefügt. Ehe ich nun die, die einzelnen Versuchsreihen darstellenden Tabellen anführe, muß ich noch diese Bemerkungen voranschicken. Auf die in Tabelle I und II dargestellten Versuchsreihen wurde die Formel $z = \sin \frac{1}{2} \alpha = A \mu^z + C$ angewandt und die Constanten mittelst der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Dabei stellte sich heraus, daß C so klein ist, daß man es unbedenklich vernachlässigen oder überhaupt seinen Werth als Null annehmen konnte. Diese zeitraubende Operation habe ich daher auf die andern Versuchsreihen nicht angewandt. Da überdiß der Werth von C bei einer und derselben Versuchsreihe bald positiv bald negativ gefunden wurde, so setzte ich überhaupt $C = 0$ und erhielt dadurch $z = \sin \frac{1}{2} \alpha = A \mu^z$. Die Constanten A und μ sind nun bei allen Versuchsreihen nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden.

Construirt man sich nach den Beobachtungen Curven, deren Ordinaten $\log \sin \frac{1}{2} \alpha$ sind, so müssen diese gerade Linien seyn; läßt man dabei die Endwerthe unberücksichtigt, so findet dieß auch wirklich statt und diese Curven lassen deutlich ersehen, mit welcher Richtigkeit die vorige

Formel das Vertheilungsgesetz ausspricht. Endlich ist noch jene Bemerkung in Betreff der Dimensionen der Spirale zu machen, wie sie von Lenz und Jacobi und van Rees (diese Ann. Bd. 61 S. 455 und Bd. 70) gemacht wurde. Alles dort Gesagte gilt auch hier, wie man sich leicht überzeugen kann.

Zur Untersuchung des oben erwähnten ersten Falles wurden zwei Magnete angewandt, von denen der eine 53,7 Cm. lang, 4,7 breit und 1,5 Cm. dick, der andere 55 Cm. lang, 4,7 breit und 1,5 Cm. dick war. Zunächst wurde nun die Vertheilung des Magnetismus in ihnen untersucht; die Magnetismen der Enden wurden hier, wie auch bei allen andern Versuchen aus bekannten Gründen gar nicht bestimmt. Hierauf wurde an den Nordpol eines jeden Magnets ein weiches Eisen von 55 Cm. Länge, 4,7 Breite und 1,5 Dicke angelegt und die Vertheilung des Magnetismus im Magnet wieder untersucht. Endlich wurden an beide Endflächen der Magnete die weichen Eisen angelegt und dann wieder in den Magneten die Vertheilung bestimmt. Die Ergebnisse dieser Versuche führe ich der Kürze wegen und weil sie zunächst für unsere Frage nicht von besonderer Wichtigkeit sind, nicht an.

Zu den Versuchen wurden wie gesagt zwei gleiche Eisenstäbe angewendet; der eine sey mit a , der andere mit b bezeichnet; ebenso sey der 53,7 Cm. lange Magnet A und der andere B genannt. Wurde ein Eisenstab an den Magnet angelegt, so zeigte sich letzterer auf dieser Seite, nachdem das Eisen wieder entfernt war, etwas stärker als früher; allein nach einiger Zeit hatte sich der ursprüngliche Vertheilungszustand wieder hergestellt; nur in diesem Zustand wurde jeder Magnet angewandt. Bei der Berechnung von A und μ wurden die zwei oder drei letzten Werthe nicht benutzt, weil, wie wir schon früher entwickelten, diese doch nicht gut mit der Formel stimmen können.

I.

α lag am Nord- und dann am Südpol von A an.

$$\log A = 0,30267 - 1 \quad \log \mu = 0,98745 - 1.$$

Entfernung von der Berührungsstelle	Am Nordpol Ablenkung α		Am Südpol Ablenkung α		Mittel $\frac{1}{2}\alpha$	Berechnet $\frac{1}{2}\alpha$	$\Delta\frac{1}{2}\alpha$
	I	II	I	II			
0	22,7 22,8	22,7 22,8	22,6 22,6	22,7 22,7	11° 21'	11° 34'	-13'
5	19,8 19,8	19,9 19,9	19,7 19,8	19,7 19,8	9 51	10	- 9
10	17,3 17,3	17,3 17,4	17,8 17,2	17,3 17,3	8 39	8 39	0
15	15,1 15,1	15,1 15,0	15,0 15,0	15,1 15,0	7 31	7 28	+ 3
20	13,1 13,2	13,2 13,2	13,1 13,0	13,2 13,0	6 34	6 28	+ 6
25	11,3 11,3	11,4 11,4	11,2 11,3	11,2 11,3	5 39	5 36	+ 3
30	9,7 9,6	9,7 9,7	9,6 9,6	9,7 9,6	4 50	4 50	0
35	8,2 8,1	8,2 8,2	8,1 8,2	8,1 8,3	4 6	4 11	- 5
40	6,3 6,4	6,4 6,3	6,3 6,4	6,4 6,4	3 11	3 37	-26
45	4,8 4,9	4,9 4,9	4,7 4,8	4,8 4,9	2 26	3 8	-42
50	3,1 3,2	3,1 3,2	3,0 3,0	3,1 3,1	1 33	2 43	-1° 10

II.

δ lag am Nordpol von B .

$$\log A = 0,21929 - 1. \quad \log \mu = 0,98716 - 1.$$

Entfernung	Ablenkung α		Mittel $\frac{1}{2}\alpha$	Berechnet $\frac{1}{2}\alpha$	$\Delta\frac{1}{2}\alpha$
	I	II			
0	18,7 18,7	18,8 18,8	9° 22'	9° 32'	- 10'
5	16,2 16,1	16,3 16,2	8 6	8 13	- 7

Entfernung	Ablenkung α		Mittel $\frac{1}{2}\alpha$	Berechnet $\frac{1}{2}\alpha$	$\Delta\frac{1}{2}\alpha$
	I	II			
10	14,2	14,2	7° 6'	7° 5'	+ 1'
	14,2	14,2			
15	12,3	12,4	6 9	6 6	+ 3
	12,3	12,2			
20	10,6	10,8	5 21	5 16	+ 5
	10,7	10,7			
25	9,1	9,2	4 34	4 32	+ 2
	9,2	9,1			
30	7,7	7,8	3 54	3 55	- 1
	7,8	7,9			
35	6,6	6,7	3 20	3 22	- 2
	6,7	6,7			
40	5,5	5,7	2 48	2 54	- 6
	5,6	5,6			
45	4,3	4,4	2 11	2 30	- 19
	4,4	4,3			
50	2,8	2,9	1 26	2 10	- 44
	2,9	2,8			

III.

 b lag am Südpol von B .

$$\log A = 0,17436 - 1; \quad \log \mu = 0,89577 - 1.$$

0	16,7	16,8	8° 24'	8° 35'	- 11'
	16,8	16,9			
5	14,3	14,3	7 9	7 17	- 8
	14,2	14,4			
10	12,2	12,2	6 6	6 10	- 4
	12,2	12,2			
15	10,5	10,6	5 17	5 14	+ 3
	10,6	10,5			
20	9,1	9,1	4 33	4 27	+ 6
	9,0	9,2			
25	7,7	7,8	3 54	3 46	+ 8
	7,8	7,9			
30	6,5	6,5	3 15	3 12	+ 3
	6,4	6,5			
35	5,1	5,2	2 36	2 43	- 7
	5,2	5,3			

Entfernung	Ablenkung α		Mittel $\frac{1}{2}\alpha$	Berechnet $\frac{1}{2}\alpha$	$\Delta \frac{1}{2}\alpha$
	I	II			
40	4,2	4,3	2° 8'	2° 18'	— 10'
	4,3	4,2			
45	3,3	3,3	1 39	1 57	— 18
	3,2	3,3			
50	2,3	2,3	1 8	1 39	— 31
	2,2	2,2			

IV.

$$\log A = 0,19315 - 1; \log \mu = 0,98724 - 1.$$

Entfernung	Südpol Ablenkung α		Mittel $\frac{1}{2}\alpha$	Berechnet $\frac{1}{2}\alpha$	$\Delta \frac{1}{2}\alpha$
	I	II			
0	17,5	17,6	8° 48'	8° 55'	— 10'
	17,6	17,6			
5	15,3	15,4	7 39	7 46	— 7
	15,2	15,3			
10	13,2	13,4	6 39	6 40	— 1
	13,3	13,3			
15	11,5	11,6	5 48	5 46	+ 2
	11,6	11,6			
20	10,1	10,1	5 3	4 58	+ 5
	10,0	10,1			
25	8,6	8,7	4 20	4 19	+ 1
	8,6	8,7			
30	7,4	7,4	3 42	3 42	0
	7,3	7,5			
35	6,3	6,3	3 9	3 13	— 4
	6,3	6,2			
40	5,3	5,3	2 39	2 45	— 6
	5,3	5,3			
45	4,2	4,3	2 7	2 23	— 16
	4,2	4,2			
50	3,0	3,1	1 30	2 3	— 33
	2,9	3,0			

Die bedeutende Verschiedenheit der Differenzen bei den Endwerthen von I und von II und III, die bei I 1° 10',

bei II und III aber nur 44' resp. 31' betragen, führte mich auf den Gedanken, daß der Stab *b* weicher seyn müsse als *a*; diese Voraussetzung wurde nun auch durch folgenden Versuch vollkommen bestätigt. Wurden beide Eisenstäbe, nachdem sie vom Magnete, mit dem sie gleich lange Zeit in Berührung waren, abgerissen und auf ihren permanenten Magnetismus untersucht dadurch, daß von ihrer Mitte aus die Rolle abgeschoben wurde, so ergaben sich diese Ablenkungen:

für <i>a</i>			für <i>b</i>		
nach 10 Minuten	1,8°		nach 5 Minuten	0,3°	
„ 15 „	1,7°		„ 10 „	0,2°	
„ 19 „	1,7°		„ 15 „	Spur	
„ 3 Tagen	1,6°		„ 3 Tagen	Spur	

Aus diesem Grunde wurde *a* zu den Versuchen nicht mehr benutzt. An *B* wurde *a* an den Nordpol und *b* an den Südpol angelegt und die Vertheilung in letzterem untersucht; die Beobachtungen und Rechnungsergebnisse dafür sind in Tabelle IV zusammengestellt.

V.

$$\log A = 0,30293 - 1;$$

$$\log \mu = 0,98743 - 1.$$

Entfernung	Ablenkung α		Mittel	Berechnet	$A \frac{\alpha}{2}$
	I	II	$\frac{\alpha}{2}$	$\frac{\alpha}{2}$	
0	22,9	23,0	11° 30'	11° 35'	— 5'
	23,0	23,1			
5	19,9	20,0	9 59	10 1	— 2
	19,9	20,0			
10	17,3	17,3	8 40	8 39	+ 1
	17,3	17,4			
15	15,1	15,0	7 32	7 29	+ 3
	15,1	15,1			
20	13,2	13,2	6 35	6 28	+ 7
	13,1	13,2			
25	11,4	11,5	5 43	5 36	+ 7
	11,5	11,4			
30	9,8	9,9	4 55	4 51	+ 4
	9,8	9,8			

Entfernung	Ablenkung α		Mittel	Berechnet	$A \frac{\alpha}{2}$
	I	II	$\frac{\alpha}{2}$	$\frac{\alpha}{2}$	
35	8,3	8,4	4° 11'	4° 11'	0
	8,4	8,4			
40	6,8	6,9	3 27	3 37	- 10'
	6,9	7,0			
45	5,4	5,5	2 44	3 8	- 24
	5,4	5,5			
50	4,0	4,0	2 1	2 42	- 41
	4,1	4,0			

VI.

$$\log A = 0,10298 - 1; \quad \log \mu = 0,98663 - 1.$$

0	14,4	14,4	7° 11'	7° 17'	- 6'
	14,3	14,4			
5	12,4	12,5	6 12	6 14	- 2
	12,3	12,4			
10	10,7	10,8	5 22	5 21	+ 1
	10,7	10,8			
15	9,1	9,2	4 36	4 35	+ 1
	9,2	9,3			
20	8,0	8,1	4	3 57	+ 3
	7,9	8,0			
25	6,8	6,9	3 26	3 22	+ 4
	6,9	6,8			
30	5,8	5,8	2 53	2 53	0
	5,7	5,8			
35	4,8	4,9	2 26	2 28	- 2
	4,9	4,9			
40	3,8	4,1	1 58	2 7	- 9
	3,9	3,9			
45	3,0	3,1	1 32	1 49	- 17
	3,0	3,1			
50	2,0	2,2	1 3	1 33	- 30
	2,1	2,1			

Eine weitere Versuchsreihe ergab sich durch folgendes Arrangement. Der Magnet B wurde stärker magnetisch gemacht dadurch, daß er in eine cylindrische Magnetisierungsrolle von 46,6 Cm. Länge und von solcher Oeffnung

dafs die Rinne sehr bequem hineinpaßte, gebracht wurde, in der ein durch eine Tangentenboussole bestimmter und durch einen Stromregulator constant erhaltener Strom von einem Bunsen'schen Becher circularte. Nachdem der Magnet einige Male in der Rolle hin- und hergeschoben war, um die Stromeswirkung auf alle Theile erfolgen zu lassen, wurde er in der Rinne so befestigt, dafs seine Mitte und Axe mit der Mitte und Axe der Rolle zusammenfiel. An den so verstärkten Magnet wurden auf beiden Seiten die weichen Eisenstäbe angelegt und wieder nur der am Südpol anliegende Stab *b* untersucht; die Ergebnisse sind in Tabelle V zusammengestellt.

Was nun den zweiten Fall anbelangt, zu dem übrigens V den Uebergang bildet, so wurde folgende Versuchsreihe angestellt. Der Stab *a* wurde in die schon früher erwähnte Magnetisirungsspirale gebracht, in welcher ein constant erhaltener Strom von derselben Stärke wie bei V circularte; an ihn wurde dann der Stab *b* angelegt und untersucht; Tabelle VI enthält die zugehörigen Resultate.

Betrachtet man in vorstehenden Tabellen die Differenzen der berechneten und beobachteten Werthe, so findet man bei allen Versuchsreihen eine merkwürdige Uebereinstimmung der Aufeinanderfolge ihrer Vorzeichen; in der Nähe der Berührungsstelle und des Endes sind alle beobachteten Werthe etwas zu klein, in der Mitte aber zu groß. Der Grund liegt (abgesehen davon, dafs unsere Formel nur eine Annäherung ist) darin, dafs wir selbst mit aller Vorsicht es nicht dahin bringen können, eine innige und vollständige Berührung der Endflächen des Magnets und Eisenstabs hervorzurufen. Die Vertheilungsformel gründet sich aber hauptsächlich darauf, dafs die Berührung eine vollständige sey; sind nun irgend welche Theilchen der Endfläche des Eisens vorhanden, die nicht von denen des Magnets berührt sind, so werden sie gewissermaßen das Bestreben haben, das Eisen polarisch zu machen und zwar an der Berührungsstelle mit einem dem des anliegenden Pols entgegengesetzten Magnetismus, welcher daher an die-

ser Stelle und in ihrer Nähe den durch die ganze Länge des Eisens verbreiteten gleichartigen Magnetismus etwas schwächen wird. Eine weitere Folge davon, daß das Eisen theilweise polarisch wird, ist die, daß in der Mitte die beobachteten Werthe größer als die berechneten ausfallen müssen. Warum nun weiter in der Nähe des Endes der Eisenstäbe die beobachteten Werthe zu klein sind, haben wir schon oben gezeigt und als von der Coërcitivkraft abhängig dargestellt.

Wir gehen zur Betrachtung des dritten Falls über. Zu einem Theil der Versuche wurde als zu magnetisirendes Eisen ein 97,6 Cm. langer, 4,2 Cm. breiter und 1,8 Cm. dicker Stab angewandt; derselbe wurde in die schon erwähnte, 46,6 Cm. lange Spirale gebracht und im Ganzen so verfahren wie bei VI.

VII. Versuchsreihe. Das Eisen wurde soweit in die Magnetisierungsrolle gebracht, daß es um 50 Cm. daraus hervorragte; dann wurde der Strom geschlossen und nach einiger Zeit (etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde) die Vertheilung in dem von der Spirale nicht bedeckten Theile untersucht, wobei die Entfernungen von der Stelle an gerechnet sind, wo die Windungen aufhören. Die Resultate sind in Tabelle VII niedergelegt und zwar in der unter 1 stehenden Columnne. Wurde nun der Strom geöffnet, so verlor das Eisen keineswegs seinen Magnetismus völlig; dieser durch die Coërcitivkraft bedingte Magnetismus wurde bestimmt und in der Columnne 2 verzeichnet. Da die Coërcitivkraft hier ziemlich beträchtlich ist, so wurde, um ihren Einfluß so viel als möglich zu beseitigen, der Stab in der Rolle einige Mal hin- und hergeschoben und dann in der ursprünglichen Weise befestigt und untersucht, nachdem einige Zeit verflossen war. Der Beobachtungen dafür sind 3 aufgezeichnet; aus 1 und 3 wurde dann das Mittel genommen.

VII.

 $\log A = 0,24229 - 1; \quad \log \mu = 0,98723 - 1.$

Entfernung	1. α		2.	3. α		Mittel $\frac{\alpha}{2}$	Berechnet $\frac{\alpha}{2}$	$A \frac{\alpha}{2}$
	I	II		I	II.			
2	18,8 18,7	18,8 18,9	2,5	18,7 18,8	18,8 18,8	9° 24'	9° 27'	- 3'
5	17,2 17,3	17,3 17,4	2,5 2,3	17,1 17,1	17,2 17,2	8 39	8 40	- 1
10	14,9 14,8	14,9 14,8	2,2 2,3	15,0 14,9	15,2 15,1	7 29	7 29	0
15	12,7 12,8	12,8 12,8	2,2	13,0 12,9	13,0 13,1	6 28	6 27	+ 1
20	10,9 11,0	11,0 11,0	2,0 2,2	11,3 11,4	11,5 11,4	5 37	5 34	+ 3
25	9,6 9,7	9,7 9,8	2,0	10,0 10,0	10,0 10,0	4 54	4 48	+ 6
30	7,9 8,0	8,2 8,1	1,8	8,3 8,3	8,4 8,4	4 6	4 9	- 3
35	6,7 6,7	6,8 6,8	1,4 1,6	7,2 7,3	7,4 7,3	3 32	3 35	- 3
40	5,2 5,3	5,2 5,3	1,1 1,0	6,0 6,1	6,1 6,0	2 50	3 5	- 15
45	4,3 4,3	4,3 4,4	0,9 1,0	4,8 4,8	5,0 5,0	2 19	2 40	- 21

VIII.

Das Eisen sah 35 Cm. weit aus der Rolle heraus.

 $\log A = 0,223107 - 1. \quad \log \mu = 0,98142 - 1.$

2	17,6 17,6	17,7 17,7	2,5 2,3	17,6 17,6	17,7 17,6	8° 50'	8° 49'	+ 1'
5	15,5 15,4	15,4 15,5	2,4 2,3	15,5 15,4	15,6 15,5	7 44	7 45	- 1
10	12,4 12,4	12,5 12,5	2,0	12,6 12,5	12,6 12,6	6 15	6 15	0
15	10,1 10,0	10,2 10,1	1,7 1,8	10,3 10,3	10,3 10,4	5 6	5 3	+ 3
20	8,0 7,9	8,1 8,0	1,4	8,4 8,3	8,4 8,4	4 6	4 5	+ 1
25	6,3 6,2	6,3 6,4	1,0 1,2	6,6 6,6	6,7 6,6	3 13	3 17	- 4
30	4,2 4,3	4,4 4,4	0,9 1,0	5,0 5,0	5,0 5,1	2 21	2 39	- 18

Beiläufig muß ich hier einer Erscheinung erwähnen, die ich bei diesen Versuchen immer beobachtete, und die wie mir scheint in einiger Beziehung zu den von Waltenhofen'schen Versuchen steht (siehe Zeitschrift für Math. und Physik von Schlömilch, Jahrg. 9, Heft 3, S. 221) und sich auf analoge Weise erklären läßt. Wurde nämlich der Strom *plötzlich* geschlossen und dann durch Drehung des Regulators die Nadel der Tangentenbussole, sobald sie ruhig war, auf einen bestimmten Theilstrich gebracht, welche Operation etwa 3 bis 5 Minuten Zeit erforderte, und dann gleich darauf das Eisen untersucht, so fand ich es stärker magnetisch als eine halbe Stunde später. So z. B. erhielt ich, wenn die Inductionsspirale von der Stelle 2 abgezogen wurde bei VII:

5 Minuten nach Schließung	15 Minuten	etwa 30 Minuten
21°	19,6°	18,8°

bei VIII

5 Minuten.	30 Minuten.
18,9	17,6

Die letzteren Werthe blieben nachher constant und sie sind es, die in den Tabellen aufgeführt sind. Wäre der Eisenstab aus beträchtlicher Entfernung allmählich der Rolle genähert und endlich in sie hineingeschoben worden, so hätte er sogleich ungefähr den Magnetismus erhalten müssen, der in den Tabellen angegeben ist. Diese Letztere konnte ich nicht bestätigen, da damals, als ich die oben erwähnte Erscheinung beobachtete und mir nicht ganz erklären konnte, die Waltenhofen'schen Versuche noch nicht publicirt waren. Uebrigens beobachtete ich sie nur bei diesem Stabe, der wie wir sahen, eine nicht unbeträchtliche Coërcitivkraft besitzt; bei dem so sehr weichen Eisenstabe *b* gelang es mir nicht, sie hervorzurufen.

IX. Der Stab *b* wurde soweit in die Rolle geschoben, daß 25 Cm. seiner Länge von den Windungen bedeckt waren und 30 Cm. daraus hervorragten. Man fand:

IX.

$$\log A = 0,89706 - 2.$$

$$\log \mu = 0,97807 - 1.$$

Entfernung	1. α		2.	3. α		Mittel $\frac{1}{2}\alpha$	Berechnet $\frac{1}{2}\alpha$	$A\frac{1}{2}\alpha$
	I	II		I.	II			
2	7,9	8,1	0,6	8,1	8,2	4° 2'	4° 5'	— 3'
	7,8	8,0		8,1	8,1			
5	6,9	6,9	0,5	7,0	7,2	3 30	3 31	— 1
	6,8	6,7		7,1	7,1			
10	5,4	5,5	0,4	5,5	5,7	2 46	2 44	+ 2
	5,3	5,4		5,6	5,6			
15	4,1	4,2	0,2	4,3	4,3	2 7	2 7	0
	4,0	4,1		4,4	4,4			
20	3,0	3,0	0,2	3,2	3,3	1 35	1 38	— 3
	2,9	3,1		3,3	3,3			
25	2,1	2,2	0,1	2,2	2,3	1 6	1 16	— 10
	2,1	2,1		2,2	2,3			

Da hier die Coërcitivkraft so gering war, so dachte ich, könne man mit Erfolg die ursprüngliche Lenz- und Jacoby'sche Methode durch Unterbrechung des Magnetisierungsstroms anwenden; dadurch entstand folgende Versuchsreihe.

X.

$$\log A = 0,83595 - 2.$$

$$\log \mu = 0,97811 - 1.$$

Entfernung	α		Mittel $\frac{\alpha}{2}$	Berechnet $\frac{\alpha}{2}$	$A\frac{\alpha}{2}$
	I	II			
2	7,1	7,2	3° 35'	3° 33'	+ 2'
	7,1	7,2			
5	6,0	6,1	3°	3 3	— 3
	5,9	6,0			
10	4,8	4,8	2 24	2 22	+ 2
	4,7	4,9			
15	3,7	3,8	1 53	1 51	+ 2
	3,7	3,8			
20	2,7	2,8	1 24	1 26	— 2
	2,8	2,9			
25	1,9	2,1	0 59	1 6	— 7
	1,9	2,0			

Aus den Tabellen ersieht man, daß μ zwischen den 0,97 und 0,95 schwankt; man kann sie somit als constant für alle angewandten Eisenstäbe ansehen. Der Theorie nach müßte μ bei allen ideell weichen Eisenstäben eine absolute Constante seyn, unabhängig von der Stärke des Magnets und von den Dimensionen des Eisens. Meine Versuche bestätigen dieß theilweise; sie zeigen, daß μ unabhängig von der Stärke des Magnets und von der Länge der Stäbe ist. Ob die Dicke einen Einfluß darauf habe, behalte ich mir vor noch zu untersuchen.

Bei langen Stäben insbesondere wenn ihre Coërcitivkraft beträchtlich ist, muß man, wie leicht einzusehen, μ als eine Function von x ansehen; und in der That paßte für die ganze Länge der Stäbe sehr gut die Formel

$$z = A (m^{\alpha+\beta x})^x = A m^{\alpha x + \beta x^2}$$

oder, da hier β sehr klein war,

$$z = B (\mu_0^{(a+b)x} + \mu_0^{(a-b)x}).$$

Bensheim an der Bergstraße, im December 1864.

VI. Ueber Temperaturerniedrigung bei der Absorption des Wassers durch feste poröse Körper; von C. G. Jungk.

Pouillet hat schon im Jahre 1822¹⁾ nachgewiesen, daß wenn flüssige Körper von porösen festen Körpern absorbirt werden, eine Temperaturerhöhung eintritt. Er fand dieselbe bei unorganischen Körpern, wie Metallen, Oxyden, Erdarten 0,2° C. bis 0,3° C.; dagegen bei organischen Körpern bis zu +10°. So viel ich weiß, sind seitdem nicht wieder Versuche darüber angestellt worden, aufser daß

1) Gilbert Bd. LXXIII S. 355. — Schweigg. J. 1822 *Ann. de Chim. et de Phys.* T. XX, p. 141.

Ventzke¹⁾ bei einer Vermischung von Knochenkohle mit einer Rohrzuckerlösung von 1,3 sp. G. und 85° bis 99° C. eine bis zur Explosion gesteigerte Erhitzung beobachtet hat; aber es sind seitdem Fragen aufgeworfen worden, die es wünschenswerth machen, jenen Erscheinungen näher zu treten, sie auf andere zurückzuführen oder mit ihnen in Zusammenhang zu bringen.

Der Umstand, daß auch bei der Absorption des Wassers durch reingewaschenen trockenen Flußsand eine Temperaturveränderung eintritt, schließt die Annahme aus, daß dabei chemische Thätigkeit die Ursache der Wärmeentwicklung sey, wenn nicht die Adhäsion als Anfang einer solchen angesehen werden soll. Auch Berührungselektricität dürfte dabei nicht in Betracht kommen. Es bleibt somit nur übrig, eine mechanische Arbeit, wie sie z. B. zur Verdichtung einer Flüssigkeit nöthig ist, als Ursache anzunehmen.

Da sich an den Gränzflächen von Flüssigkeiten eine sogenannte Flüssigkeitshaut bildet, in welcher die einzelnen Molecule sich viel weniger leicht gegen einander verschieben lassen, so wird man auf eine Verdichtung der Flüssigkeiten an diesen Stellen hingewiesen; und außerdem zeigt eine Abhandlung von G. Rose »Ueber die Fehler, welche in der Bestimmung der specifischen Gewichte der Körper entstehen, wenn man dieselben im Zustande der feinsten Vertheilung wägt²⁾«, daß eine solche Verdichtung des Wassers an der Oberfläche fester Körper sich sogar bei genauen Wägungen bemerkbar macht, indem sich für ein und denselben Körper ein um so größeres specifisches Gewicht ergibt, in je feinerer Vertheilung derselbe angewendet wird. G. Rose erklärt dieß, und gewiß mit allgemeiner Zustimmung, durch die Annahme, daß die festen Körper an ihrer Oberfläche das Wasser verdichten und also um so mehr davon, je größer ihre Oberfläche ist. Auch die Erscheinung, daß Wasser in freien Tröpfchen

1) Dingler's J. Bd. CXXIX S. 144.

2) Pogg. Ann. Bd. LXXIII S. 1. — Polyt. Centralbl. 1848 S. 171.

und in engen Glasröhren eine um so niedrigere Temperatur ertragen kann, ohne zu gefrieren; je kleiner der Durchmesser derselben ist, wie Mousson¹⁾ und Dufour²⁾ beobachtet haben, deutet auf eine Verdichtung des Wassers an den Gränzflächen hin. Denn J. Thomson hat theoretisch und W. Thomson³⁾ experimentell nachgewiesen, daß der Gefrierpunkt des Wassers unter höherem Druck, also bei Verdichtung des Wassers sinkt, womit jene Erscheinung unter der Annahme einer Verdichtung des Wassers an den Gränzflächen übereinstimmen. Hiernach hat die Annahme, daß die Temperaturveränderung bei der Absorption des Wassers auf Verdichtung desselben beruhe, eine große Wahrscheinlichkeit für sich und fordert auf, ihre Richtigkeit auch in einzelnen speciellen Fällen experimentell zu bestätigen.

Sehr viele Erscheinungen sprechen für das Gesetz: „Je der Körper wird wärmer oder kälter, je nachdem man an ihm Veränderungen, welche er durch Wärmeverlust, oder Veränderungen, welche er durch Wärmeaufnahme erleidet, in anderer Weise hervorbringt“ und keine Erscheinung widerspricht demselben. Ist dieses Gesetz durchgreifend, so muß Wasser, wofern es bei seiner Absorption durch poröse Körper verdichtet wird, dabei kälter oder wärmer werden, je nachdem seine Temperatur unter oder über $+4^{\circ}\text{C.}$ ist. Thomson, der für die Temperaturveränderung des Wassers bei plötzlicher Druckveränderung aus der mechanischen Wärmetheorie eine Formel abgeleitet hat, findet für eine Druckvermehrung von 10 Atmosphären bei Wasser von 0° nur eine Temperaturerniedrigung von $0,005^{\circ}\text{C.}$, und bei Wasser von 100° eine Temperaturerhöhung von $0,078^{\circ}\text{C.}$ Die geringen Temperaturveränderungen bei so hohem Druck lassen den experimentellen Nachweis solcher Erscheinungen bei der Absorption des Wassers sehr schwierig erscheinen. Aber andererseits deu-

1) Pogg. Ann. Bd. CV, S. 161.

2) Pogg. Ann. Bd. CXIV, S. 530.

3) Pogg. Ann. Bd. LXXXI, S. 161.

ten die von Pouillet beobachteten Temperaturerhöhungen von $0,2^{\circ}$ bis $0,3^{\circ}$ C., so wie die von G. Rose mit der Wage beobachtete Verdichtung auf eine so große Kraft der Adhäsion, daß eine experimentelle Entscheidung erwartet werden kann. Daher habe ich eine Reihe von Versuchen darüber angestellt. Dieselben bestätigen die obigen Folgerungen und machen es somit sehr wahrscheinlich, daß die Temperaturveränderung bei der Absorption des Wassers Folge einer Verdichtung desselben ist.

Pouillet stellte seine Versuche mit feinen Thermometern an, an denen 1° C. 30 bis 50 Millimeter Länge hatte. Da mir solche Instrumente nicht zu Gebote standen und auch nicht sicheren Erfolg versprachen, so wandte ich mich zum Thermomultiplikator. Einige vorläufige Versuche zeigten, daß schon ein Paar thermoelektrische Elemente aus Eisen und Neusilber, denen sich jede Form geben läßt, die Temperaturerhöhung bei der Absorption des Wassers am Multiplikator sichtbar macht, und ließen folgende Einrichtung als genügend erscheinen.

Drei Eisendrähte und zwei Neusilberdrähte von 6" Länge sind zu einer Thermosäule verlöthet, welche auf jeder Seite zwei Löthstellen und zu den Polen die Enden zweier Eisendrähte hat. Diese Säule ist halbkreisförmig gebogen, so daß alle Löthstellen in dieselbe Flüssigkeit tauchen können, während die Pole durch ganz dünne biegsame Drähte mit dem Multiplikator verbunden sind. Das eine Ende der Säule geht durch einen Kork, auf welchen ein Glascylinder, der etwa 1 Zoll Höhe, $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser und einen siebförmigen Metallboden hat, aufgeklemmt werden kann, so daß, wenn der Cylinder mit einem porösen Körper gefüllt ist, die Löthstellen von diesem ganz eingehüllt und vom Siebboden etwa $\frac{1}{2}$ Zoll entfernt sind. Diese Säule ist so aufgehängt, daß, wenn sie in ein Gefäß hinabgelassen wird, die freien Löthstellen den Boden zuerst berühren, während der Siebboden des Glascylinders etwa noch $\frac{3}{4}$ Zoll entfernt ist und erst bei weiterem Senken mit seinen drei kleinen Füßchen (Zinntröpfchen) aufsteht. Die

so aufgehängte Säule ist in einem Glasgefäß, auf dessen Boden eine flache Metallschale steht, welches ohne Beeinträchtigung der Bewegung der Säule bedeckt werden kann, und welches sich im Freien vor dem Fenster befindet. Die Verbindung mit dem Multiplicator in der Stube ist durch die Fensterfugen hindurch vermittelt und zwar so, daß die Nadel des Multiplicators nach der rechten Seite des Beobachters abweicht, wenn die Löthstellen in dem kleinen Glas cylinder erwärmt werden. Das Heben und Senken der Säule kann von der Stube aus durch den obern Flügel des Fensters gehandhabt werden. Mit dieser Vorrichtung wurde folgendermaßen verfahren. In die Metallschale wurde bis zu $\frac{1}{4}$ Zoll Tiefe Berliner Röhrenwasser gegossen, und der kleine Glas cylinder wurde mit rein ausgewaschenem trockenem Sande bis zu $\frac{3}{4}$ gefüllt und auf den Kork der Säule so aufgeschoben, daß deren Löthstellen vom Sande umgeben und vom Siebboden etwa $\frac{1}{2}$ Zoll entfernt waren. Dann wurde die Säule so in das Glas gehängt, daß sie das Wasser gar nicht berührte, das Glas bedeckt und das Ganze 24 Stunden der Lufttemperatur ausgesetzt, die während der Versuche zwischen 0° und $+2^{\circ}$ R. schwankte. Darnach mußte die erreichbare Gleichheit der Temperatur in den verschiedenen Theilen des Apparats eingetreten seyn, was auch der Multiplicator durch seine Einstellung auf Null nachwies. Darauf wurde die Säule so weit gesenkt, daß sie mit den freien Löthstellen den Boden der Schale berührte, und der Stand der Multiplicatornadel betrachtet. War dieser constant und von Null wenig verschieden, so wurde die Säule so weit gesenkt, bis auch das Sieb aufstand, und das Wasser durch dasselbe hindurch vom Sande aufgesogen wurde, und nun der Gang und die endliche Stellung der Multiplicatornadel beobachtet. Darauf wurde zu einer folgenden Beobachtung der nasse Glas cylinder entfernt, die Löthstellen getrocknet, und ein schon vorbereiteter, mit kaltem Sande gefüllter Glas cylinder mit Siebboden an seine Stelle gebracht; dann wurde die Säule sofort mit den freien

Löthstellen ins Wasser getaucht und ein Stand des Multipliers abgewartet, der höchstens $\pm 1\frac{1}{2}^{\circ}$ von Null abwich, ehe durch Senken der Säule der Sand wieder benetzt und dabei der Gang der Multiplacatornadel beobachtet wurde. Die Ablenkung, welche bei einer Abkühlung der Löthstellen im Glascylinder eintraten, wurden mit —, die andern mit + bezeichnet. Die Resultate von 8 solchen Beobachtungen sind hiernach aus folgender Tabelle zu ersehen.

Lufttemperatur	Stand der Multiplacatornadel		
	ohne Strom	während d. Säule nur mit dem einen Ende im Wasser war	nach der Benetzung des Sandes
1°,5 R.		— 1°,5	— 10°
0		0	— 3
2	+ 0°,5	— 1	— 7
1	+ 1	0	— 6
1	+ 0,5	— 1,5	— 7
2	0	— 1	+ 3
1,5	— 1	— 1,5	— 7
0,75	— 1	— 1	— 8,5

Obwohl der sechste Versuch eine Erwärmung des absorbirten Wassers zeigt, und ich keinen speciellen Grund in den Umständen dafür finden konnte; so halte ich doch die sieben andern Beobachtungen für entscheidend, daß hier bei der Absorption des Wassers von weniger als $+4^{\circ}$ C. eine Temperaturerniedrigung eintritt. Denn 1) sicherte die geringe Schwankung in der Lufttemperatur, welche sich während eines Experiments nicht merklich änderte, eine sehr gleichmäßige Temperatur des Wassers, 2) mußte das Metallgefäß, welches auf Füßen stand, bewirken, daß das Wasser um die eingetauchten Löthstellen nicht etwa durch die metallische Zuleitung der in der Luft befindlichen Thermosäule eine andere Temperatur annahm als an andern Stellen, und 3) ließ die geringe Tiefe des Wassers es nicht zu, daß in den Sand Wasser aus andern Schichten drang, wie von den ersten Löthstellen berührt wurden.

Eingetretenes Schneewetter gab Gelegenheit statt des

Sandes Schnee anzuwenden; aber dabei zeigte sich die Handhabung des Apparats und das Lösen der Klemmen vor dem Fenster so unbequem, daß sichere Resultate nicht zu erzielen waren. Eine Unterbrechung der Versuche wurde daher dazu benutzt, eine andere Einrichtung der Thermosäule zu treffen, deren Handhabung bequemer und sicherer ist. Die Thermosäule ist von denselben Metallen, von derselben Form und in derselben Weise aufgehängt wie die vorige, hat aber auf jeder Seite 5 Löthstellen, und ihre eisernen, aber verzinnnten Polenden tauchen beim Senken der Säule in zwei gläserne Quecksilbernäpfchen, mit welchen die Multiplicatorenden dauernd verbunden sind, und auch die Enden einer eisernen Nebenschließung in Verbindung gesetzt werden können, so daß der Multiplikator durch diese allein geschlossen werden kann. Diese Vorrichtung wurde angebracht, um den Strom, der etwa durch Ungleichheit in den Temperaturen der Quecksilbernäpfe und der Zuleitungsdrähte unabhängig von den Temperaturunterschieden an den Löthstellen der Säule entsteht, schätzen zu können. Die Nebenschließung ist von Eisen, weil auch die Polenden der Säule Eisendrähte sind. Das Ganze befindet sich wie bei den vorigen Versuchen in einem bedeckten Glase auf dessen Boden die flache Metallschaale steht, ist aber im Zimmer aufgestellt, in welchem die Temperatur wenig um $+1^{\circ}$ R. schwankt. Die Beobachtungen mit dieser Vorrichtung sind in folgender Weise gemacht.

Die Metallschaale wurde mit einem Gemisch von Schnee und Wasser gefüllt, so daß für das Eintauchen des Siebes ein kleiner Wasserspiegel frei blieb. Die Thermosäule und der Glaszylinder wurden einige Zeit vor dem Fenster einer Temperatur von -7° R. ausgesetzt, letzterer dann mit Schnee von -7° bis zu $\frac{3}{4}$ vollgedrückt und auf den Kork der Thermosäule aufgeklemmt, so daß die Löthstellen in den Schnee drangen, und nun die Thermosäule so eingehängt, daß ihre Pole in das Quecksilber und ihre freien Löthstellen in das Gemisch aus Schnee und Wasser

tauchten. Dabei schlug die Multiplicatornadel nach links hin gegen die Hemmung. Nachdem sie sich etwa in 30 Minuten der Null genähert hatte, wurde die Säule so weit gesenkt, daß auch das Sieb ins Wasser tauchte und dieses in den Schnee eindringen liefs. Die dadurch bewirkte Ablenkung der Nadel wurde beobachtet. Um Zeit zu sparen wartete ich später nicht mehr ab, bis die Nadel nahe an Null stand. Nach jedem Versuch wurde noch bestimmt, welchen Stand die Nadel einnahm, wenn der Multiplicator nur durch die Nebenschließung und wenn er gar nicht geschlossen war. Die Resultate von zwölf solchen Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle mit Beibehaltung der früheren Bezeichnungsweise zusammengestellt.

No.	Ablenkung am Multiplicator wenn er geschlossen ist durch			
	die Säule		Nebenschließung	nichts
	wenn nur die freien Löthstellen eintauchen	wenn auch der Schnee benetzt ist		
1	— 2°	— 11°	+ 2°	+ 0,5
2	— 2	— 12	+ 2	+ 0,5
3	— 0,5	— 0,5	+ 2	+ 0,5
4	+ 2	— 2	— 2	+ 1
5	+ 0,5	— 8	— 2,5	+ 0,5
6	— 17	— 21,5	— 5	+ 0,5
7	— 1	— 12	— 1,5	+ 0,5
8	— 28	— 30	— 3	+ 1
9	— 30	— 35,5	+ 1,5	0
10	— 35	— 37	+ 0,5	+ 0,5
11	— 10	— 12	— 0,5	+ 1
12	— 11	— 13,5	+ 6	+ 1

Die Ablenkungen der zweiten und dritten Spalte sind zum Theil so hoch, daß sie nicht mehr den wirkenden Strömen proportional sind. Drückt man sie in Einheiten vom Werthe des ersten Grades aus und zieht dann die in der dritten Spalte erhaltenen Zahlen ab, so erhält man die Zahlen, welche das Verhältniß der nur von der Temperatur der Löthstellen abhängigen Thermoströme geben, vorausgesetzt, daß der Strom bei der Nebenschließung gleich dem Strome ist, der bei Einschaltung der Säule unabhängig

von der Temperatur der Löthstellen entstehen kann. In dieser Weise umgeändert lautet die Tabelle

No.	Ablenkung am Multiplicator	
	wenn nur die freien Löthstellen eintauchen	wenn auch der Schnee benetzt wird
1	— 4	— 13,2
2	— 4	— 14,2
3	— 1,5	— 1,5
4	+ 4,2	+ 0,2
5	+ 3	— 5,5
6	— 12	— 18
7	+ 0,5	— 10,7
8	— 29,3	— 32,5
9	— 37	— 46,7
10	— 44,8	— 48,3
11	— 9,5	— 11,7
12	— 17,2	— 19,8

Die Versuche zeigen in allen Fällen eine Abkühlung des absorbirten Wassers, obwohl in den letzteren die Absorption vor sich ging, während der Schnee nach Angabe des Multiplicators kälter war als das Gemisch aus Schnee und Wasser, aus welchem das Wasser in den Schnee drang. Dafs die Zahlenwerthe der Temperaturveränderungen bei den einzelnen Versuchen so verschieden sind, kann es nicht zweifelhaft machen, dafs diese bei jedem Versuch eine Temperaturerniedrigung war; denn die Berührung zwischen den Löthstellen und dem Schnee liefs sich nicht immer gleich innig herstellen, so dafs eine quantitative Uebereinstimmung der Versuche zu erwarten gewesen wäre. Aber es kann zweifelhaft erscheinen, ob die Temperaturerniedrigung von der Verdichtung des absorbirten Wassers oder vom Schmelzen des Schnees herrührt; denn es ist bei der Berührung zwischen Wasser und Eis von 0° ebenso möglich, dafs dieses schmilzt, als dafs jenes sich verdichtet. Nach der Absorption des Wassers war der Schnee gewöhnlich von den Glaswänden des Cylinders etwas losgelöst, indem die einzelnen Krystalle wohl dichter aneinander gerückt waren, aber als eine gefrorene Masse erschien er nicht. Demnach

möchte man annehmen, daß die Temperaturerniedrigung durch Schmelzen des Schnees hervorgebracht wird, wenn man nicht zu berücksichtigen hätte, daß, nach Thomson, comprimirtes Wasser einen niedrigeren Gefrierpunkt hat, und das vom Schnee absorbirte Wasser, gerade wenn es verdichtet ist, nicht gefrieren kann, selbst wenn es bei dieser Verdichtung eine niedrigere Temperatur annimmt. Entscheidend bleiben daher nur die Absorptionerscheinungen, bei denen keine Schmelzung eintreten kann. Ich habe daher die Versuche mit dem Sande auch mit Hülfe der letzten Einrichtung wiederholt und noch auf Wasser von mehr als $+4^{\circ}$ C. ausgedehnt. Dabei habe ich dasselbe Verfahren beobachtet wie bei dem Schnee, indem ich vor jedem Versuch die Säule und den darauf geklemmten, mit trockenem Sande gefüllten Cylinder einer weit niedrigeren Temperatur aussetzte, als im Zimmer war und das zu absorbierende Wasser hatte, und damit wie oben verfuhr. Die Resultate dieser Versuche giebt folgende Tabelle.

Luft-temp. im Zimmer	Ablenkung des Multiplicators wenn er geschlossen durch				Temperatur des Wassers
	die Säule wenn nur die freien Löth- stellen ein- tauchen	wenn auch der Sand benetzt ist	die Neben- schließung	nichts	
1° R.	— 15°	— 26°	— 1,5	+ 1	0° R.
»	+ 4	— 14	+ 0,5	+ 0,5	»
»	— 14	— 26	+ 1	+ 1	»
»	0	— 24	+ 0,5	+ 0,5	»
»	+ 1	— 22	+ 0,5	+ 0,5	»
»	+ 13	— 26	+ 0,5	+ 0,5	»
5,5	— 1	— 9	— 3	+ 0,5	4,5
»	+ 0,5	— 9,5	— 3	+ 0,5	4,5
»	— 3	— 11,5	— 3	+ 0,5	4
6,5	— 3	+ 10	— 3	+ 0,5	5,5
»	— 1	+ 2	— 3,5		5
»	+ 3	+ 14	— 3	+ 0,5	5,5
»	0	+ 11	— 2	+ 0,5	6
»	+ 2,5	+ 7	— 3	+ 0,5	6
»	+ 2	+ 9	— 3	+ 0,5	»
»	— 4	+ 10	— 4	— 0,5	»

Nimmt man hiermit dieselben Veränderungen vor wie mit der vorigen Tabelle, so erhält man folgende

Lufttemperatur im Zimmer	Ablenkung des Multiplicators geschlossen durch die Säulen		Temperatur des Wassers
	wenn nur die freien Lötstellen eintauchen	wenn auch der Sand benetzt ist	
1° R.	— 14	— 27,7	0°
»	+ 3,5	— 14,9	0
»	— 12,5	— 27,7	»
»	— 0,5	— 26,9	»
»	+ 12,8	— 29,7	»
5,5	+ 2	— 6	4°,5 R.
»	+ 3,5	— 6,8	»
»	0	— 8,7	4
6,25	0	+ 13,1	5,5
»	+ 2,5	+ 5,5	5
»	+ 6	+ 17,4	5,5
»	+ 2	+ 13,2	6
»	+ 0,5	+ 10	»
»	0	+ 14	»

In Bezug auf die Temperaturbestimmung des Wassers ist zu bemerken, daß das Wasser von 0° ein Gemisch von Wasser und Schnee war, seine Temperatur also als genau angegeben zu betrachten ist. Die anderen Bestimmungen sind aber keineswegs genau. Sie sind mit einem kleinen Badethermometer gemacht, welches in das Glas hineingebracht werden konnte. Dasselbe konnte wegen der geringen Tiefe des Wassers höchstens nur mit der Hälfte der Kugel sich im Wasser befinden. Die Angaben desselben sind daher offenbar zu hoch, wenn die Lufttemperatur höher als die des Wassers ist. Die Temperatur des Wassers ist also, wenn das eintauchende Thermometer + 4° oder + 4°,5 R. zeigt, während die Lufttemperatur über + 5° ist, jedenfalls niedriger als + 4° R. Mit Rücksicht hierauf zeigt diese Versuchsreihe außer der Bestätigung der ersten auch noch den Umstand, daß die Temperaturveränderungen bei der Absorption des Wassers in der Nähe des Dichtigkeitsmaximums aus einer Temperaturer-

niedrigung in eine Temperaturerhöhung umschlägt, wie es in Uebereinstimmung mit andern Erscheinungen und der mechanischen Wärmelehre geschehen muß, wenn bei der Absorption des Wassers eine Verdichtung desselben eintritt.

Wenn sich, wie ich glaube, gegen die Beweiskraft meiner Versuche nichts einwenden läßt, so ist das Resultat der Untersuchung 1) *dafs Wasser bei seiner Absorption durch Sand seine Temperatur erniedrigt oder erhöht, je nachdem es vorher unter oder über $+4^{\circ}$ C. warm ist* 2) *dafs Wasser von 0° bei seiner Absorption durch Schnee seine Temperatur erniedrigt* 3) *dafs die Erscheinung als Folge einer Verdichtung des Wassers an der Oberfläche der festen Körper betrachtet werden kann.*

Mit diesen Resultaten stehen andere bekannte Erscheinungen in sehr enger Beziehung, so dafs hier etwas näher darauf hinzuweisen ist.

Clausius unterscheidet zwei verschiedene Ursachen der Gefrierpunktserniedrigung des Wassers 1) Bewahrung des Wassers vor jeder Erschütterung 2) Erhöhung des Drucks auf das Wasser d. i. Verdichtung desselben. Obwohl bei den schon erwähnten, von Mousson und Dufour beobachteten Erscheinungen zunächst hervortritt, dafs die Beweglichkeit des Wassers in den freien Tröpfchen und in den Glasröhren mit deren Durchmesser abnehmen muß und in Folge dessen eine Erniedrigung des Gefrierpunktes eintreten kann, so wirken doch höchst wahrscheinlich beide Ursachen. Denn in gewissen Fällen gefriert Wasser, welches die Form kleiner Kugeln hat oder an einem festen Körper adhärirt, bei einer Temperatur unter 0° selbst dann nicht, wenn es in Bewegung gesetzt wird. Dufour erwähnt in der oben angeführten Abhandlung S. 335 bis 337, dafs Wassertropfen, welche bei -4° bis -12° C. in einer Mischung von Chloroform und Süßmandelöl schwebten, selbst bei grofser Gestaltsveränderung nicht gefroren; dafs bei -6 bis -7° C. eine Wasserkugel, mit einer Eiskugel berührt, sofort gefror, ohne anzuhafte, bei -3° bis -4° C. zwar auch sofort gefror, aber sich fest anhing,

indem ein Theil des Wassers sich auf dem starren Kügelchen auszubreiten suchte; daß sich bei -2° aber das Wasser zunächst über die starre Kugel verbreitete, sie bald vollständig, bald unvollständig einhüllend, und dann erst gefror. Hier sehen wir also Wasser von -2° flüssig bleiben, während es sich über eine Eiskugel von -2° verbreitet, also gewiß erschüttert ist. Diefes wird erklärlich, wenn man annimmt, daß sich das Wasser dabei verdichtet und nicht nur seine Temperatur erniedrigt, sondern auch seinen Gefrierpunkt. Mousson erwähnt in der oben citirten Abhandlung, daß in Glasröhren von 0^{mm},185 bis 0^{mm},341 und 0^{mm},7 Durchmesser Wasser bei -7° C. flüssig blieb, selbst wenn die Röhren durch Stöße erschüttert wurden, ja in den erstern sogar dann noch, wenn das Wasser darin mit gefrierendem Wasser außerhalb in Verbindung stand. Hier muß wohl Verdichtung des Wasser an dem Gefrieren hindern; denn bisjetzt ist es, soviel ich weiß, noch nicht gelungen, Wasser in Berührung mit Eis durch Beseitigung aller Erschütterungen vor dem Gefrieren zu schützen bei Temperaturen unter 0° .

Es sind ferner von Faraday, Tyndall und Forbes mehrere Erscheinungen am schmelzenden Eise festgestellt worden, welche noch keine sichere Erklärung gefunden haben. Die Fundamentalerscheinung, welche wohl allen zu Grunde liegt, ist von Faraday 1850 beobachtet worden. Sie besteht darin, daß zwei thauende Eisstücke, wenn sie sich berühren an der Berührungsstelle wieder zusammenfrieren. Später im Jahre 1850 hat Faraday¹⁾ noch gezeigt, daß Eisstücke von 0° auch aneinander frieren, wenn sie ganz unter Wasser von 0° sind und miteinander in Berührung kommen.

Faraday's Erklärung dieser Erscheinung besteht in der Annahme, daß ein Wassertheilchen, welches bei nur einseitiger Berührung von Eis seinen flüssigen Zustand erhalten kann, dies nicht mehr im Stande ist, wenn es an beiden Seiten von Eis berührt wird, sondern daß es bei

1) Pogg. Ann. Bd. CXI, S. 647.

gleichbleibender allgemeiner Temperatur erstarrt. Hiermit ist die Erscheinung eigentlich nicht erklärt, d. h. nicht auf andere schon bekannte Erscheinungen zurückgeführt, sondern sie ist nur benutzt, eine neue Bedingung, unter welcher Wasser erstarrt, festzustellen.

Forbes¹⁾ führt das Wiederezusammenfrieren auf Person's Ansicht zurück, daß die Temperatur des Eises, welches sich in Wasser von 0° befindet, eine etwas niedrigere ist und an den äußersten Gränzflächen allmählig in 0° übergeht, wodurch hier eine Uebergangsschicht von Eis oder Wasser gebildet wird, die durch Zutritt von Wärme aus dem Wasser ganz flüssig und ohne dies durch den Einfluß der niedrigeren Temperatur des Eises ganz fest zu werden geneigt ist. Treten nun zwei Eisstücke in Wasser von 0° miteinander in Berührung, so schneidet jedes dem andern an der Berührungsstelle die Wärme ab, welche ihm durch das Wasser zugeführt werden kann, und beide frieren durch die Uebergangsschicht zusammen.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß in jedem Körper, dem durch Leitung Wärme entzogen oder zugeführt wird, an den Stellen, wo eine Aggregatsveränderung eintritt, auch ein Sprung in dem Temperaturzustande stattfindet. Indessen ist diese Erklärung richtig oder vielmehr die damit angenommene Ursache die allein wirksame, so ist die in Rede stehende Erscheinung bei allen Körpern zu erwarten, welche allmählich von außen nach innen schmelzen; denn bei allen diesen ist aus denselben Gründen anzunehmen, daß die Temperatur des festen Theils inwendig eine niedrigere ist als die des flüssigen, und daß an der Gränze beider sich eine Uebergangsschicht bildet. Faraday²⁾ hat, wenn auch nicht um über diese Erklärung zu entscheiden, mit andern Körpern Versuche angestellt und nur bei geschmolzenem Salpeter zuweilen Spuren des Wiederezusammenfrierens bemerkt. Indem er in Bezug hierauf erwähnt, daß Salpeter wie das Wasser beim Erstarren sich ausdehnt, scheint er

1) Pogg. Ann. Bd. CIX S. 176.

2) Pogg. Ann. Bd. CXI, S. 656.

Poggendorff's Annal. Bd. CXXV.

darauf hinzudeuten, daß diese Eigenschaft eine wesentliche Rolle dabei spiele. Sollte sich dieß in weiteren Versuchen bestätigen, so wäre die von Forbes angenommene Ursache für das Zusammenfrieren zweier thauenden Eisstücke wenigstens unzureichend.

Thomson erklärt die Erscheinung dadurch, daß zwei feste Stücke nicht ohne Druck in Berührung gebracht werden können, und daß dieser Druck, wie gering er auch sey, an der Stelle, wo sich die Theilchen berühren, eine Schmelzung verursache, begleitet von einer Schwächung des Drucks und einem Wiedererstarren des Wassers an der Berührungsstelle.

Obwohl diese Erklärung die Eigenschaft des Wassers, beim Erstarren sich auszudehnen also durch Druck flüssig zu werden, zur Grundlage hat, wird sie von Faraday doch nicht anerkannt, weil der bei dem Zusammenfrieren wirkende Druck viel zu unbedeutend ist, als daß er eine Schmelzung hervorbringen könnte, und weil die Annahme, daß dieser Druck durch Capillarattraction genügend vermehrt werde, unzulässig ist, da Eisstücke auch unter Wasser wieder zusammenfrieren, wo die Capillarwirkung beiseitigt ist.

Es ist nun die Frage, ob die Resultate der gegenwärtigen Untersuchung zur Erklärung des Wiederezusammenfrierens thauender Eisstücke etwas beitragen können?

Geht man von der Annahme aus, daß Wasser in Berührung mit festen Körpern sich innerhalb einer sehr kleinen Entfernung von deren Oberfläche verdichtet, so folgt, daß, wenn sich zwei feste Körper im Wasser bis auf diese kleine Entfernung an gewissen Stellen einander nähern, das Wasser hier noch mehr verdichtet wird. Hat dasselbe eine Temperatur unter $+4^{\circ}$ C. so wird es dabei kälter, wird also unter 0° kalt, wenn es vor der Verdichtung diese Temperatur hatte. Obwohl dieses verdichtete, unter 0° abgekühlte Wasser selbst nicht gefrieren kann, da sein Gefrierpunkt durch die Verdichtung gesunken ist, so kann es doch angränzendes außerhalb der Verdichtungssphäre lie-

gendes Wasser zur Erstarrung bringen und so beide Körper fest verbinden, wofür nicht diese Körper eine zu schnelle Ausgleichung der Temperaturunterschiede herbeiführen.

Diese Betrachtung reicht meiner Meinung nach hin, das Wiederezusammenfrieren thauender Eisstücke und das Zusammenfrieren anderer festen Körper mit solchem Eise, wie es Faraday und Forbes in den oben citirten Abhandlungen erwähnen, erklärlich zu machen, und hat zur Grundlage eine Thatsache und eine Annahme, die nach den Beobachtungen von G. Rose auch eine Thatsache zu nennen ist. Man kann daher nicht sagen, daß bei dieser Erklärung Wirkungen angenommen werden, welche sich nicht wahrnehmen lassen. Da aber eine genaue Werthabschätzung der einzelnen Kräfte und ihrer Wirkungen unmöglich ist, so kann man nicht behaupten, daß die zu dieser Erklärung herbeigezogenen Kräfte die allein mitwirkenden sind. Es ist wohl möglich, daß auch die von Forbes angenommene Kraft dabei thätig ist, da beide einander wohl unterstützen können, und daß weder die von mir noch die von Forbes geltend gemachte Kraft allein im Stande ist, die beobachtete Wirkung hervorzubringen.

Noch will ich bemerken, daß die Allgemeinheit, in welcher obige Betrachtung gehalten ist, Folgerungen veranlassen konnte, die sich experimentell wahrscheinlich nicht erweisen lassen, z. B. die Folgerung, daß auch zwei Glasstücke oder zwei Metallstücke unter Wasser von 0° an der Berührungsstelle zusammenfrieren. Wahrscheinlich wird das nicht geschehen; einmal weil die Ausgleichung der Temperaturunterschiede zu schnell vermittelt wird, und dann, weil wegen der Starrheit der Massen nicht eine so innige Berührung eintritt, wie bei Eisstücken, welche an der Oberfläche flüssig oder in einem Uebergangszustande sind, der das Erstarren begünstigt.

Obwohl die Plasticität des Eises, welche von Faraday und Tyndall nachgewiesen ist und darin besteht, daß in kleine Stücke zermalmt Eis sich durch Druck wieder in

ein homogenes festes Eisstück verwandeln läßt, sich sehr gut aus der Erniedrigung des Gefrierpunktes des Wassers unter Druck erklären läßt, wie J. Thomson gezeigt hat, so ist doch sehr wohl möglich, daß auch die von mir beobachtete Erscheinung dabei mitwirkt, wenn erst durch Druck ein Theil des Eises flüssig wird und der andere zermalmte Theil einen porösen Körper bildet, der den flüssigen Theil absorbiert.

VII. *Die schwarzen Linien und Ablösungen
in den Meteoriten;
von Freiherrn von Reichenbach.*

XXV.

Vorwort.

Die Reihenfolge gegenwärtiger Abhandlungen, vergleichende Untersuchungen über die Meteoriten betreffend, ist einige Zeit unterbrochen worden. Die Ursache davon lag in meinem Wunsche, meine autoptischen Kenntnisse über die ganze Erscheinung der Meteoriten durch Besuch der größern europäischen Sammlungen zu vervollständigen. In dieser Absicht machte ich mich im Sommer 1861 auf den Weg und hatte den Genuß, folgende Sammlungen zu sehen:

- Zu München die Sammlung der Akademie;
- Zu Paris die Sammlung im *Jardin des Plantes*;
- Ebendasselbst die Sammlung der *Ecole des Mines*;
- Zu Dampierre die des Herzogs von Luynes;
- Zu London die des britischen Museums;
- Ebendasselbst die der *Geological Institution*;
- Zu Woodberry bei London die des Hrn. Nevill;
- Zu Göttingen die der königl. Universität;
- Zu Berlin die des königl. Universitätsmuseums;

Zu Prag die des böhmischen Museums;
Ebendasselbst die des Hrn. Gubernialraths Neumann.

Hierzu kommen noch:

Zu Wien die Sammlung des kaiserl. Hofcabinets, und
Zu Schloß Reichenberg endlich meine eigene.

Damit werde ich den größten Theil des Schatzes gesehen haben, den Europa überhaupt an Meteoriten besitzt, habe ihn aber nicht bloß gesehen, sondern mit aller Genauigkeit seinen Beschaffenheiten nach kennen zu lernen mich bestrebt. In Berlin, im Jardin des Plantes und im britischen Museum habe ich jedem einzelnen Steine halbe und ganze Stunden gewidmet, Skizzen davon gezeichnet, und über ihre Eigenthümlichkeiten Schilderungen niedergeschrieben. Auf die Mehrzahl dieser Sammlungen verwendete ich mehrere Wochen, die ich bei ihrer Untersuchung zubrachte. Die umfassenden Belehrungen, die ich hieraus schöpfte, und den hohen Genuß, den mir diese Arbeiten gewährten, verdanke ich der großen Gefälligkeit des Hrn. von Kobell, des Hrn. Wöhler, des Hrn. Gustav Rose, der HH. d'Orbigny in Paris und Davies in London, die mich in hohem zu Dank verpflichteten durch das unbedingte Vertrauen, mit dem sie mir täglich die Schränke öffneten und meinen Arbeiten jede Unterstützung gewährten, die ich von der wohlwollendsten Zuvorkommenheit nur irgend wünschen konnte. Zufällig und zu meinem Leidwesen waren die HH. Daubrée und Maskelyne auf Reisen abwesend. Später gelingt es mir vielleicht, in einem kurze Reiseberichte die Eigenthümlichkeiten und den ausgezeichneten Inhalt dieser reichen Sammlungen mittheilen zu können.

Die schwarzen Linien und Ablösungen.

Von der Prüfung der Rinde und des glasartigen Körpers auf den Eisenmeteoriten, worüber die XX. dieser Abhandlungen sich verbreitete, kommen wir zu der Betrachtung der diesen entsprechenden Erscheinungen auf den *Steinmeteoriten*. Auch diese tragen bekanntlich die Wirkungen ihres jähen Durchfluges durch die Atmosphäre zur

Schau, wohl noch stärker als jene. Sie zeigen die Folgen erlittener außerordentlich hoher Hitze und bestandenen heftigen Brandes, wenn man ihre feurige Eile durch die Luft, wobei Eisen und Schwefeleisen flammend verbrennen, so nennen mag. Ueber die Erzeugnisse hiervon besitzen wir noch wenig Untersuchung. Da die Steinmeteoriten zusammengesetzter sind, als die Eisenmeteoriten, so erzeugen sich bei ihrem Brande auch verwickeltere Erscheinungen; ich habe dessen bereits kurze Erwähnung gethan in der fünften dieser Abhandlungen¹⁾ und dort geäußert, daß ich später auf diesen Gegenstand zurückkommen werde; dieser Verpflichtung wünsche ich nun hier wo möglich nachzukommen.

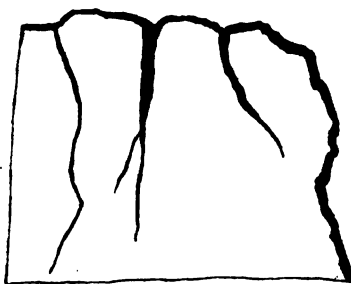
Ich habe daselbst die Dunkelheit beklagt, in der wir mit den *schwarzen Linien* schweben, die wir in vielen Meteoriten wahrnehmen, und deren Erklärung bis dahin große Schwierigkeiten zu bieten schien. Doch habe ich schon damals die Muthmaßung beigelegt, daß »diese Linien nicht überall von einerlei, sondern von mehrfacher und ganz verschiedener Abkunft seyn könnten.« Ich bin inzwischen auf meinen Reisen um einige werthvolle Beobachtungen reicher geworden, aus denen, hoffe ich, einiges neue Licht auf diese Gegenstände zu leiten möglich werden wird.

Erste Abtheilung.

Wenn wir Steinmeteoriten zerschlagen, so sehen wir in den meisten Fällen zunächst weisliche oder graue Bruchflächen heller oder dunkler zum Vorschein kommen. Nicht immer, aber doch sehr häufig, zeigen sich diese Bruchflächen von mehr oder weniger *grauen bis schwarzen Linien durchzogen*, die bald sehr fein wie das dünnste Papier auf dem Schnitte, bald zunehmend dicker sind wie Zwirnfäden, wie Schnüre, bis sie endlich fingerdick und mehr werden. Gleichzeitig sieht man häufig dunkelgraue und schwarze Flecke auf diesen Bruchflächen, von Hirsekorngröße ansteigend bis zu halben Händen, von ganz unregelmäßigen Ge-

1) Pogg. Ann. Bd. 104, S. 480.

stalten. Ihre Dicke stimmt mit der der Linien überein. Nicht selten macht man dann die weitere Beobachtung, daß jene *Linien und die Flecke unmittelbar* miteinander zusammenhängen. Bei weiterem Verfolge findet man Stellen, wo diese Flecke nicht bloß auf der Oberfläche erscheinen, sondern *in den Stein hinein fortsetzen und darin zu schwarzen Blättern oder Tafeln anwachsen*, in derselben Weise im Kleinen, wie in unsern Bergwerken Gänge im Großen sich darstellen. Trifft es sich nun, daß beim Zerschlagen eines solchen Meteorsteines mit dem Handhammer die Bruchfläche mit einem solchen Gange, mit einem solchen schwarzen Blatte in Eins zusammenfällt, so kommt jener grauschwarze Fleck zur Ausbildung, den wir dann *eine Ablosung* nennen, weil er alle äußere Aehnlichkeit mit der Erscheinung hat, welche wir in der Mineralogie und im Bergbau so nennen.



Die Zeichnung giebt einen Steinmeteoriten im Querbruche. Die äußere dickere Umfassung ist die Rinde; innen im Steine verlaufen die schwarzen Linien.

Graue bis schwarze Linien, schwärzliche Flecke, schwärzliche Blätter oder Tafeln, schwärzliche Ablosungen und Risse in den Meteoriten sind daher in den meisten Vorkommnissen zusammenhängende, öfters selbst gleichzeitig entstandene Erscheinungen, die sich einander mehrentheils bedingen. Wir werden dieß bei ihrer speciellen Prüfung und Beurtheilung näher kennen lernen.

Um den Hergängen bei der Entstehung dieser Gebilde einigermaßen näher zu kommen, werden wir mit Vortheil einiges aus der Chemie und dem gewerblichen Leben hier beiziehen. Wenn bei einem Schmiede das Feuer zu trocken geht, wie er sich ausdrückt, so wirft er etwas Quarzsand

hinein und macht Saft, in seiner Sprache. Das heisst, wenn das Feuer, in welchem er sein Stück Eisen schweiswarm machen will, zu reductiv geht, und in Folge dessen zu wenig Schlacke bildet, deren er zum Schweißen eine gewisse Menge bedarf, so giebt er Kieselsäure zu, die sich sofort mit dem Eisenoxydul und Eisenoxydoxydul verbindet und zusammen das giebt, was er Saft nennt, d. i. dünnflüssige Schlacke, so wie der Schmied sie zu seinen Zwecken braucht. Diefs kann man schon in jedem Kleinf Feuer sehen. Geschieht es aber im Großfeuer, im Frischfeuer, so bedient sich der Schmied statt des Sandes auch wohl, wo er ihn hat, derben Quarzes und wirft Bröcken wie Wallnüsse groß ins Feuer. Diefs kann man in den Stahlfeuern von Kärnten und Steyermark täglich sehen. Kaum sind sie einige Secunden im Feuer, so hört man darin starke Detonationen, um so stärker, je größer die Steine waren, bis zum Knalle einer abgeschossenen Flinte. Diese heftigen Laute bei denen ich oft genug zugegen war, werden durch das Zerspringen der hineingeworfenen Steine verursacht. Wenn sie plötzlich im Weißglühfeuer auf 1800 bis 2000 Cent. Grade auf ihrer Oberfläche erhitzt werden, dehnen sie sich auf ihr sehr rasch aus. Da jedoch die Hitze nicht ebenso schnell in die innerlich kalten Steine eindringen kann, so entsteht rasch eine sehr ungleiche Ausdehnung zwischen dem Außern und Innern derselben. Die bekannte Folge davon muß nothwendig ihr Zerreißen und Zerspringen mit einer Gewaltigkeit und Schnelligkeit seyn, welcher die Heftigkeit des Knalles entspricht.

Was wir nun in dieser Weise täglich unter unseren Augen vor sich gehen sehen, ist derselbe Hergang, dem die Meteoriten unterliegen, während sie durch die Luft eilen. Aus der fünfzig- bis hundertgradigen Kälte der Welträume gerathen sie plötzlich in eine Weißglühhitze, wovon in der XXII. dieser Abhandlungen der Nachweis gegeben ist, daß sie unsere stärksten Großfeuer an Intensität der Hitze weit übertrifft, weit über 2000° C. sich erhebt. Nothwendig zerplatzen sie in gleicher Weise wie die Quarze

im Frischfeuer in Folge des äußersten Gegensatzes von Kälte und Hitze in einem festen Körper und Donnern in der Höhe der Atmosphäre.

Bei der Geschwindigkeit, mit welcher dies alles vorgeht, wird es einleuchtend, daß nicht alle Risse, welche in rascher Aufeinanderfolge sich bildeten, bis zu Zertrennungen des ganzen Steines fortschreiten konnten. Manche sind als Risse unvollendet stehen geblieben, indem der Stein in demselben Augenblicke nach einer andern Richtung nachgab und rifs. Zerschlagen wir ja nur mit dem Handhammer in der Stube einen Stein, so bekommt er oft genug außer dem beabsichtigten Bruche noch unerwünschte Nebenrisse.

Ein zweiter Grund dieser Erscheinung ist ebenfalls in der XXII. dieser Abhandlungen auseinander gesetzt. Dort weist die Rechnung nach, daß schon der bloße Luftdruck in der enormen Steigerung, mit welcher er auf die Meteoriten beim Durchfluge durch die Atmosphäre wirkt, groß genug ist sie zu brechen und theilweise zu zerbröckeln. Weiß man ja doch, daß wenn man nur einen großen Tropfen von einer zähen Flüssigkeit bei ruhiger Luft von einem Thurme herabfallen läßt, er bei einer gewissen Geschwindigkeit angekommen zerreißt und durch den Widerstand der Luft zersplittert wird. Auch hierbei müssen nun viele halbvollzogene Risse entstehen, welche den Stein stellenweise einen Augenblick klaffend machen, ohne überall die Spaltung zu vollenden, das ist Zerklüftungen erzeugen.

Wir haben also hier zwei Ursachen vor uns, den schnellen Uebergang von äußerster Kälte zu äußerster Hitze, und den enormen Luftdruck, welche beide gleiche Wirkung hervorbringen und sich darin gegenseitig unterstützen, nämlich *die Erzeugung mannigfaltiger Risse in den Meteoriten während sie die Luft durchfliegen.*

Gleichzeitig mit diesen Zerreißungen, Zerklüftungen und Detonationen ging die Oberflächenschmelzung der Meteoriten vor sich. Da sehen wir nun wieder dieselben Hergänge auftreten, wie sie beim Grobschmiede im Großfeuer

sich ergeben. Man kann mit allem Fuge die geschmolzene Rinde eines Eisenmeteoriten neben die Frischschlacke, und die eines Steinmeteoriten neben die Rohschlacke der Großfeuer unserer Eisenwerke stellen. Die Erstere ist bekanntlich geschmolzenes Eisenoxydoxydul, die Letztere ein Trisilicat von Eisenoxydul, Fe Si . Was von unsern künstlichen Schlacken gilt, das findet mehr oder minder auf die Rinden der Meteoriten Anwendung. Eisenoxydul und Eisenoxyd sind in unsern künstlichen Feuern bekanntlich für sich unschmelzbar; kommt aber Kieselsäure hinzu, so schmelzen wir sie unschwer. Im ersten Falle befinden sich die Eisenmeteoriten bei ihrem Gange durch die Atmosphäre, im zweiten die Steinmeteoriten mit ihrem großen Kieselerdegehalt. Beide erleiden bei gleichen äußern Umständen denen sie ausgesetzt sind, gleiche Hitze, aber die Oberfläche von beiden liefert Sauerstoffverbindungen von sehr verschiedener Schmelzbarkeit. Haben wir nun die reinen Oxyde des Eisens auf der Erde für sich niemals zum Schmelzen zu bringen vermocht, so ist es gewiß höchlich auffallend und für die nähere Beurtheilung des Herganges beim Durchfluge der Meteoriten durch die Atmosphäre von Wichtigkeit zu sehen, daß gleichwohl die Rinde der *Eisenmeteoriten* auch ohne Kieselsäure vollständig geschmolzen, ja wie Glas dünnflüssig ausgebildet worden ist. Was für eine exorbitante Hitze muß also jene gewesen seyn, welche die Oberfläche der Meteoriten einige Secunden lang erfuhr! Wenn nun die XXII. dieser Abhandlungen darüber Rechenschaft giebt und nachweist, daß diese Hitze mindestens 5000° C. beträgt, in den meisten Fällen aber weit höher hinansteigt, während unsere stärksten Essenfeuer sich kaum bei 2000° zu halten vermögen, so begreift sich, wie in wenigen Augenblicken diese Oberflächen geschmolzen seyn mußten, und zwar so vollständig und dünnflüssig, daß, während einerseits Callum'sche Kügelchen in die Luft ausgesprüht wurden, andererseits die feurige Flüssigkeit über alle Theil des Meteoriten sich ausbreiten mußte. Diefs

den Eisenmeteoriten abgerungene Erzeugniß kann man nun nicht mehr eine Schlacke nennen, wie die gemischte Rindensubstanz auf den Steinmeteoriten; sie ist kein vielfaches Gemenge, kein Silicat, sondern bloß Eisen mit Sauerstoff und einer Wenigkeit von Nickel und bisweilen Kobalt. Sie bildet das, was ich Eisenglas zu nennen mir erlaubte, worin das Eisen auf irgend einer noch nicht untersuchten Oxydationsstufe steht, muthmaßlich Eisenoxydoxydul, möglichen Falls auch Eisenoxydul allein oder beide gemengt. Diefes *nicht meteoritische, sondern meteorische* Erzeugniß hat eine Härte, mit der es Fensterglas ritzt und, ähnlich dem Email, besonders auch die Fähigkeit, häufig am Eisen mit großer Festigkeit zu haften, z. B. auf *Misteca*, was gemeine Schlacke nicht thut, die sich bekanntlich leicht vom Eisen abbröckelt.

Dagegen ist die geschmolzene Rinde eines *Steinmeteoriten* ein ganz unregelmäßiges Gemenge und Gemisch der Stoffe und ihrer Oxyde, aus welchen zufällig der Stein zusammengesetzt ist, worunter Eisen in der Regel einen aliquoten, die Kieselerde aber den vorwaltenden Bestandtheil auszumachen pflegt. Sie ist daher eine wahre natürliche Schlacke, wie sie auch v. Widmannstätten auf einem *Stannern* willkürlich in starkem Schmiedefeuer bekanntlich hervorgebracht hat. Solche Schlacke von Steinmeteoriten zu Klumpen angehäuft, findet man jedoch viel seltener als auf Eisenmeteoriten, ja fast niemals. Sie ist aus anderem Stoffgemenge erzeugt, und Kiesel-, Talk-, Thon-Kalkerde mit Kali, Natron, Chrom und Eisenoxyd vermenget, dünnflüssiger, zerbrechlicher, weniger hart, als das Eisenglas und haftet nicht so fest auf Stein, als dieses auf Eisen, Sie hat sich während des Sturzes größtentheils in die Luft zerstäubt und nur eine Haut auf dem Steine hinterlassen, die gewöhnlich Kartenblattdicke, selten Liniendicke erreicht wie diefs auf einigen Exemplaren von *Nanjemoy* im britischen Museum und mehr noch in meiner Sammlung der Fall ist.

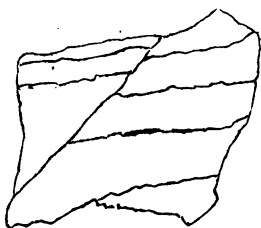
Betrachtet man nun die Natur in ihren Gebilden hier

im Besondern, so findet man, daß diese flüssigen Schmelze überall, wo sie irgend Zugang fanden, *in die Meteoriten eingedrungen sind*. Hierzu war ihnen außer ihrer hitzigen Dünnsflüssigkeit und der Kraft des Haarröhrgesetzes noch besonders der eigenthümliche Umstand beihülflich, daß sie erst aus luftleeren, sofort aus luftverdünnten Räumen herab in die mit verdichteter Luft erfüllten geriethen, wo dann der ganze Atmosphärendruck sich in die feinsten Risse hineinpressend auf die glühendflüssigen Substanzen wirken mußte. Weit mehr als alles dieses aber mußte die feuerflüssige Rindensubstanz durch den ungeheuern Druck in jede Ritze oder Concavität hineingepreßt werden, welchen die Meteoriten bei der planetarischen Geschwindigkeit, mit der sie die Atmosphäre durchheilen, gegen die Luft erlitten. Wir wollen sie jetzt im Einzelnen durchmustern, die sprechendsten Fälle so weit, als sie zu beobachten Gelegenheit gefunden, herausheben, und aus der vergleichenden Betrachtung der Thatfachen uns zu allgemeinen Schlüssen zu erheben suchen.

Beginnen wir diese Untersuchung mit einem kleinen *Lissa*, der sich in der Göttinger Universitäts-Sammlung befindet. Auf dem feinen weislichen Bruche zeigt er eine Menge schwarzer Linien, welche unordentlich darauf her schwärmen, mitunter winkelrecht gegen die schwarze Oberfläche des Steines zulaufend. Die dünne Rinde die er trägt, verstärkt und häuft sich auf einer Stelle bis zu der Dicke von fast einer Linie. Dreht man den kleinen Stein in der Hand, so gewahrt man, wie diese dicke Rinde auf ihrer Erstreckung sich in zwei Theile sondert: der Eine bleibt Rinde, zieht in verdünntem Zustande über die Oberfläche des Steines weiter fort und bedeckt ihn, der Andere geht unmittelbar in den Körper des Steins hinein, sichtlich in einen früher klaffenden Rifs und bildet in ihm einen schwarzen Gang, indem er den Rifs ausfüllt und die geborstenen Seiten wieder zusammenkittet. Im Querbruche stellt dieser Gang sich nun wie eine gewöhnliche schwarze Linie dar, welche das Ausgehende eines schwarzen Blattes im

Steine ausmacht. Selten habe ich eine schwarze Linie oder ein schwarzes Blatt deutlicher und anschaulicher aus der Rinde und Rindensubstanz sich heraus bilden gesehen, nirgends ihre Zusammenstehung und ihren unmittelbaren Zusammenhang deutlicher beobachtet. Augenscheinlich war hier in dem Steine in der Luft ein Riss entstanden, der klaffte, während die Rinde dünnflüssig über die Oberfläche des Steines sich ergoß. — Ein ähnlicher Fall findet sich ebenfalls im Göttinger Museum auf einem kleinen, fast haselnußgroßen Stückchen, welches die Wiener kais. Sammlung von ihrem 29. Pfund schweren Klotze von *Ohaba* der Universität Göttingen hat zu Theil werden lassen. Auf einer schwarzen Linie ist der Stein theilweise entzwei gegangen, und hat allda dicke schwarze Rindensubstanz blosgelegt, die von außen sichtlich auf einem Risse eingedrungen. — Ein drittes Beispiel besitzt noch einmal Göttingen an einem *Aigle* von 230 Grm. Gewicht. Auf einem Bruche, der zum Theil auf einer frühern Spalte fortläuft, sieht man schwarze, mit Rindensubstanz ausgefüllte Flecke, die von außen hereingeflossen. — Ebendasselbst findet sich auch bei einem Exemplare von *Gent* eine Ablosung, auf welcher die schwarze Rindensubstanz mit zerstreuten Rostfleckchen noch best zu erkennen ist. — *Agén*, im Jardin des Plantes, ein würfeliges Stück von beiläufig 1 Pfund, in so vielfacher Beziehung merkwürdig und belehrend, zeigt eine Kante, über welche die flüssige Rinde vom Luftwiderstande während des Fluges überblasen, schäumend auf die Seite hinüber, und in einen natürlichen Riss der sich da vorfand, hineingetrieben worden, in dessen Richtung alsdann der Stein dem Schläge des Hammers wich. Unmöglich kann man irgendwo deutlicher und überzeugender als hier sehen, wie schwarze Linien und Platten, die hier zahlreich vorhanden sind, in den Meteorsteinen von Rissen herrühren, welche mit geschmolzener schwarzer Rindensubstanz sich auf ihrem feurigen Fluge durch die Luft ausgefüllt haben. Hier sieht man nacheinander, wie die schwarze flüssig gewesene Schlacke, sprudelnd und schäumig durch den heftigen Luftwiderstand

über eine gerade Längskante in einen Spalt hineingegossen, dessen Wandungen überzieht, dann auf diesem wieder halb zusammengekitteten Sprunge durch stärkere Hammerschläge von einander gerissen wird und auf der halben Bruchfläche noch mit schwarzer Rinde überzogen bleibt. Dem ganzen Hergange kann man Schritt für Schritt mit einer grossen Vollständigkeit folgen. Dieß Exemplar ist daher für die Naturgeschichte der Meteoriten von grossem Werthe. — Noch giebt *Limerick* ein solches Beispiel; auf einem Fragmente im Jardin des Plantes von 133 Grm. fand ich ein Stückchen schwarzer Schlacke in einen Riss eingetrieben, in seiner Richtung später zerrissen und so auf beiden Bruchflächen abwechselungsweise Stein und schwarze Substanz aufweisend. — *Berlanguillas*, im britischen Museum, auf einem Stückchen von etwa $\frac{1}{2}$ Unze hat eine Ablösung, welche einer sich verbreitenden Spaltöffnung von schwarzer Rindensubstanz folgt. — Von *Blansco* liegt ein Bruchstück in meiner Sammlung, in welchem nicht weniger als sechs parallele schwarze Linien durch den Stein setzen und in der entgegengesetzten unversehrten Oberfläche in die Rinde verlaufen. Ich füge von dieser Bruchfläche eine



Skizze in natürlicher Grösse hier bei. — *Killeter*, ebenso das ihm nahestehende *Honolulu*, beide in m. Samml., sind ganz durchschwärmt von unregelmässig darin verlaufenden schwarzen Linien und gangähnlichen Tafeln, die sich nach aussen mit der Rinde vereinigen. — Selbst

in *Bishopville*, dem weichen Meteorsteine, fehlt in einem Exemplare bei Hrn. Nevill auf seinem Gute Woodberry bei London nicht ein schwarzer über eine Linie breiter Gang mitten durch sein schönes Weiss hindurch, der alle äussere Uebereinstimmung mit obigen Erscheinungen hat. — Was ich früher am oben angeführten Orte ¹⁾ von Yorkshire (*Woldcottage*) über mein eigenes Exemplar gesagt habe,

1) Diese Ann. Bd. 104, S. 480.

gehört ganz hierher; seine schwarze Rinde, welche in einen hineingeschlossen ist und ihn ausfüllt. In der Fläche dieses Risses ging der Stein trotz solchen Kittes von späteren Hammerschlägen entzwei und es wurde die schwarze ihn ausfüllende Rindensubstanz blosgelegt. — Noch liegt ein Stückchen in Göttingen angeblich *Agen* von 26 Grm. das ich jedoch für *Woldcottage* halte. Es besitzt in eine Spalte eingedrungene schwarze Rindensubstanz, auf welcher später die Trennung durch Hammerschlag erfolgte. — Von *Slobodka* liegt in meiner Sammlung ein größeres Bruchstück, in welchem geradlinige schwarze Streifen den ganzen weissen Stein durchlaufen, ja rechtwinklig einander schneiden und dann in die Rinde übergehen. Ein ähnliches Stück liegt im kais. Cabinet zu Wien, ebenso ein *Nashville* in meiner Sammlung. — Endlich bleiben uns die Schönheiten von *Renard*. Dieser sonst sehr einfache Meteorit ist durch seine schwarzen Linien ausgezeichnet, welchen in einigen Exemplaren die späteren Brüche folgten, so daß diese so zu sagen in der schwarzen Gangfläche unmittelbar entlang fortliefen. Die schwarze Rindensubstanz, hier wie in den vorigen Beispielen wie Gangmasse eingelagert, muß weicher oder spröder seyn, als der Steinkörper, und so folgen die durch Hammerstrieche erzeugten Brüche gern diesen schwarzen Linien und Flächen. Nun bei *Renard* sind auf diese Weise Bruchflächen entstanden, welche weite Strecken hinfort diesen Einlagerungen folgen und sie bloslegen. Dies fand ich überaus schön und vollständig auf einem großen Exemplare in der Sammlung des Herzogs von Luynes zu Dampierre bei Paris, das ich mit freudiger Bewunderung besichtigte; die schwarze Gangmasse ist stellenweise 1 bis $1\frac{1}{2}$ Linien dick, an vielen Flecken wo sie unbeschädigte Oberflächen hat, pechglänzend, im Bruch matt, alles kohlschwarz. Diese Substanz läuft in gekrümmten Flächen durch den Stein und endet durch unmittelbaren Zusammenhang mit der Oberflächenrinde. — Ein fast noch schöneres Exemplar von *Renard* mit denselben Erscheinungen sah ich im britischen Museum zu London. Prachtvolle kohlschwarze

Flächen sind darauf durch glückliche Brüche aufgedeckt, und dieß nicht bloß in Einer Richtung, sondern rechtwinklig sich kreuzende Platten mit stellenweise $\frac{1}{2}$ Linie dicker schwarzer hineingeflossener Rindensubstanz. — Ein drittes Exemplar von *Renard* in der *Ecole des Mines* zu Paris kann mit jenen beiden in Schönheit wetteifern. Es ist über zwei Fäuste groß und bildet eine reine, glatt abgerundete uranfängliche Ecke. Auf seiner halben Höhe ist der Stein im Haken abgesprungen und dieß auf einer der vielen schwarzen Linien, die ihn durchziehen und wovon drei in auffallend ebener Fläche schnurgerade mitten durch die Steinmasse setzen und in die Rinde verlaufen. In einer solchen Fläche, genau ihr folgend, ist der Bruch erfolgt, und hat hier zum Theil eine liniendicke schwarze Füllsubstanz an den Tag gelegt. So ist *Renard* überall zum Prototyp dieser Erscheinung geworden.

Die hierher bezügliche Beobachtung also, welche ich bis 1858 einzig auf *Woldcottage* gemacht hatte, hat sich bis heute auf sechzehn mir zu Gesichte gekommene Fallorte in vielen Bruchstücken wiederholt und bestätigt.

Die bis hierher aufgezählten Fälle stellen die Erscheinung, daß Risse auf den Meteoriten entstanden und in diese glühendflüssige Rindenschlacke hineingeflossen ist, mit voller anschaulicher Klarheit dar. Es kommen aber auf den Steinmeteoriten noch unzählige Fälle vor, wo dieß nicht in gleichem Maasse mit Evidenz nachgewiesen werden kann, und die dennoch mit Zuverlässigkeit hierher gerechnet werden müssen. Dieß sind alle diejenigen Fälle, wo die schwarzen Linien zwar sichtbar sind, ihr unmittelbarer Zusammenhang mit der Rinde aber nicht nachgewiesen werden kann. Es versteht sich von selbst, daß dieß bei allen jenen Fragmenten zutreffen muß, welche aus der Mitte der Steine herausgeschlagen worden sind und auf deren Oberfläche kein Rindenantheil vorfindlich ist. Wo keine Rinde mehr vorhanden, da kann sich keine schwarze Linie mehr in Rinde münden und somit kein Zusammenhang mit derselben mehr dargethan werden. Nichtsdesto-

weniger findet der, welcher viele Meteoriten gesehen hat, den Weg, den Nachweis dieses frühern Zusammenhanges herzustellen. *Renard* ist in den Sammlungen in vielen Exemplaren verbreitet, die keine Rinde haben, gleichwohl mit schwarzen Linien von gerader Richtung durchzogen sind. Eine Erscheinung, die nun in der einen Sammlung fehlt; findet sich in der andern: hier liegen Exemplare, welche Rinde besitzen und in welche schwarze Linien aufs schönste sich verlaufen; ja man findet zuweilen sogar die zusammengehörigen, von einander abgeschlagenen Bruchstücke, wovon das ohne Rinde sich an das mit Rinde aufs genaueste anschliesst, so dass die schwarzen Linien des rindelosen Bruchstückes an jene des berindeten scharf anpassen und man so erkennen kann, dass die Linien von jenem in denen von diesem ihren Verlauf und ihren Ausgang in der Rinde finden. Wenn man auch nicht so glücklich ist, an solchen Fällen die feste Handhabe zur Lösung der Frage zu finden, so gewährt sie doch überall der zweifelfreie Augenschein. So findet man in zahlreichen Meteoriten schwarze Linien, welche denen in andern Exemplaren vorfindlichen, die sofort in die Rinde verlaufen, mit allen ihren Besonderheiten vollkommen gleich sind. Von solchen, die ich selbst sah, kann ich angeben: *Angers* im Jardin des Plantes mit einer schwarzen Linie mitten durch den Stein; — *Apt* ebendasselbst, feine unscheinbare Linien; — *Macerata* beim Herzog von Luynes; — *Forsyth* bei Hrn. Nevill zu Woodberg; — *Mushinjum* bei ebendemselben, im Berliner und im Göttinger Museum; — *Vauillé* im Jardin des Plantes; *Poltz* im Museum zu Berlin; — *Constantinopol* im kais. Cabinet zu Wien und in meiner Sammlung; — *Agen* zu Paris in der Ecole des Mines, im Jardin des Plantes und in meiner Sammlung; — *Cereseto* bei Hrn. Nevill; — *Honolulu*, — *Agra* und — *Salés* im britischen Museum; — *Kakowa* in Göttingen; — *Kilometer* und *Honolulu* in meiner Sammlung; — *Cereseto*, *Renard*, *Jowa*, *Agra*, alle im britischen Museum; — *Blansko* in meiner Sammlung; — *Chandacapur* und *Renard* im britischen Mu-

seum; — *Barbotan*, *Stigena*, *Vouillé* im Jardin des Plantes. Vieles zerstreut findet man auf *Gent*, *Apt*, *Akburpur*, *Kaleschofka*, *Salès*, *Parnallee*, *Castine*, *Ensisheim*, in meiner Sammlung. — Alle diese schwarzen Linien gehören sichtlich den Luftrissen und der Ausfüllungen mit geschmolzener Rinde an.

Auf den ersten Blick gewahrt man bei manchen Meteorsteinen, daß die schwarzen Linien *Anastomosen* untereinander machen. Die Fäden, die auf den Brüchen oder Schliffflächen umherschwärmen vereinigen sich stellenweise, laufen mit einander vereint fort, gehen auch wohl zu dreien, vieren und mehr zusammen, trennen sich, suchen und finden wieder Vereinigungspunkte und bilden dann oftmals einen Strang auf dem Längsschnitte und in der Richtung der Tiefe schwarze Tafeln. Schöne Beispiele hiervon geben *Honolulu* bei Hrn. Nevill in Woodberry, im kais. Cabinete in Wien und in meiner Sammlung; *Chantonay* und *Agen* im Jardin des Plantes; *Lissa*, *Okniny*, *Charsonville*, *Slobodka*, *Paulograd*, *Lucé* und *Bishopville* in meiner Sammlung; *Jowa* im britischen Museum; *Ensisheim* beim Herzog von Luynes in Dampierre und eins meiner eigenen Exemplare; *Mains* in meiner Sammlung, endlich ein Stück des von Dr. Sytter aus Ostindien ins britische Museum eingesandten Meteoriten.

Bisweilen geschieht es, daß viele schwarze Linien sich zusammen neigen und wie sie sich so einerseits *schaaren*, so zergabeln sie sich anderseits und zerstreuen sich in eine größere oder kleinere Anzahl von dickern und dünnern Fäden. So namentlich auf *Lissa* im Berliner Museum; ebendasselbst auf *Renard* bis zu drei Linien Dicke; *Honolulu* bei Hrn. Nevill zu Woodberry; *Kakowa* in der Universitäts-Sammlung zu Göttingen und dem kais. Cabinete zu Wien; *Killeter* in meiner Sammlung, und a. O.

Wenn man Steine wie *Lissa*, *Honolulu*, *Killeter*, in meiner Samml. auf dem Bruche, besonders wenn er geschliffen und polirt ist, betrachtet, so sieht man nicht selten, daß zahlreiche schwarze Linien nicht parallel, sondern verworren

in allen Richtungen durchlaufen, sich unter allen Winkeln schneiden und kreuzen und gar *keine Regel der Richtung* befolgen. Diesß kann beim ersten Anblicke räthselhaft erscheinen. Der Schlüssel zu dieser Erscheinung wird sich aber finden, wenn man dem Schicksale genau folgt, welches der Stein auf seinem Wege durch die Atmosphäre erlitten. Seine Brüche und Risse erhielt er durch die ungleiche Erhitzung und durch den gewaltigen Druck, den die Luft auf ihn ausübte; als er mit planetarischer Geschwindigkeit durch sie hindurchgejagt wurde. Hätte er nun auf diesem Fluge in allen seinen Theilen dieselbe Richtung behalten, mit der er in die Atmosphäre eintrat, so wären die dabei entstandenen Brüche alle ziemlich gleichgerichtet und einigermaßen parallel ausgefallen. Dem war aber nicht so. Wie der Zustand der Rinde der Meteoriten zeigt, und wie durch die irreguläre Gestalt derselben und die damit zusammenhängende Excentricität ihres Schwerpunkts mit Nothwendigkeit bedingt wird, mußten die Meteoriten in der Luft sich drehen, und dem auf sie wirkenden Luftdrucke ohne Unterlaß andere Seiten darbieten. Dieser wirkte und drückte also fort und fort immer auf andere Oberflächentheile des Meteoriten, und immer neue Oberflächen wurden der enormen Pressung ausgesetzt, die den Stein mit Leichtigkeit brach. Wie also auf diese Weise die zerbrechende Kraft der Luft in jedem Augenblick auf andere Stellen der Meteoriten brechend wirkte, so mußten sich jeden Augenblick Brüche und Risse in anderer Richtung im Steine erzeugen, in welche die dünnflüssige Schlacke gleich im Augenblicke ihrer Entstehung hineingetrieben wurde. *Die unendliche Verschiedenheit in der Richtung der Risse in vielen Meteoriten rührt also unmittelbar her von dem unendlichen Wechsel ihrer dem Luftdrucke ausgesetzten Oberflächenstellen, während ihres Laufes durch die Atmosphäre.*

Ein Umstand besonderer Art ist hier noch zu beachten. Da die Risse durch Gewaltsamkeiten, die dem Steine angethan werden, entstanden sind, so ist alles entzwei gebrochen, was in ihrer Richtung lag, wofern es nicht härter

oder fester war, als die es umgebende Steinmasse. Nun sind die fremdartigen Einschlüsse in derselben häufig nicht fester, als diese Steinmasse selbst. Geschieht nun ein gewaltsamer Bruch oder Riss, so brechen die in dessen Richtung liegenden Einschlüsse mit ihr entzwei; die eine Hälfte davon ist dann in diesem, die andere Hälfte in jenem Theilstücke geblieben und darin sichtbar. Beispiele davon geben Bruchstücke von *Chandacapur*, *Hartford*, *Tabor*, *Lissa*, *Czartoryia*, *Schie*, *Nashville*, *Gent*, *Lucé*, *Renard*, *Ajagu*, sämmtlich in meiner Sammlung. Geschieht nun in einem Meteorsteine ein Riss und wird er, mit geschmolzener Rindensubstanz ausgefüllt, nachher erkaltet zerschlagen und es zeigt sich auf dem Bruche die davon herrührende schwarze Linie, so wird man bei genauer Prüfung immer finden, daß diese auf ihrem Laufe durch von ihr entzwei getheilte Einschlüsse hindurch geht; man wird sie ihren Weg zwischen gebrochenen Hälften vieler kleinen Enclaven hindurchnehmen sehen. Aber bald werden wir einer ähnlichen Erscheinung begegnen, wo diese Verhältnisse sich wesentlich anders gestalten.

Ich fasse zusammen: *Lissa*, *Okaba*, *Aigle*, *Gent*, *Blansko*, *Agen*, *Limerik*, *Berlangwillas*, *Kuleschofka*, *Bishopville*, *Woldcottage*, *Honolulu*, *Killefer*, *Slobodka*, *Nashville* und *Renard* zeigen auf dem Bruche schwarze Linien; sie sind das Ausgehende von schwarzen Blättern oder Tafeln, die nach Art von Gängen viele Meteoriten durchsetzen. Diese Gänge beißen auf der Oberfläche der Meteorsteine aus und stehen in unmittelbarem räumlichen und stofflichen Zusammenhange mit der schwarzen Rindensubstanz, aus der sie sofort auch bestehen. Sie leiten sich ab von Rissen, die beim feurigen Durchfluge durch die Atmosphäre entstanden. In diese floß die geschmolzene dünnflüssige Rindenschlacke hinein, wurde durch den Luftdruck bis in die äußersten Ritzen der klaffenden Sprünge hineingeprefst und füllte sie aus. Die auf diese Weise ausgekitteten Risse blieben jedoch von schwächerem Zusammenhange als die Steinsubstanz in sich; wurden dann die Steine in Stücke zerschlagen, so ris-

sen sie gern und häufig in der Richtung dieses *locus minoris resistentiae* entzwei und die schwarze Fällsubstanz wurde fleckweise blosgelegt, so wie ihre Identität mit der Rinde anschaulich. Die Anastomosen, die Verwerfungen, die Schaarungen, Zergabelungen sind wohl nichts anderes als durch zufällige Nebenumstände in der Entwicklung veranlafte Varianten, wie z. B. durch den stellenweise wechselnden Druck der Luft auf den darin rotirenden Stein.

(Fortsetzung im nächsten Heft.)

VIII. Ueber die Verbindungen des Selenacichlorids mit Chlormetallen; von Dr. Rud. Weber.

(Aus d. Monatsbericht d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, April 1865.)

Das Selenacichlorid, eine der selenigen Säure analog zusammengesetzte, Selen, Chlor und Sauerstoff enthaltende Verbindung, welche von dem Verf.¹⁾ durch Einwirkung von Chlorselen auf trockne selenige Säure dargestellt wurde, verbindet sich mit mehreren Chlormetallen zu krystallisierenden Verbindungen. Aus dieser Reihe neuer Körper sind bis jetzt von dem Verf. die nachstehend beschriebenen, welche Zinnchlorid, Titanchlorid und Antimonsuperchlorid enthalten, untersucht worden. Unzweifelhaft ist, wie vorläufige Versuche angedeutet haben, die Anzahl der Verbindungen, welche das Selenacichlorid bildet, erheblich größer; hierüber werden weitere Untersuchungen entscheiden.

Selenacichlorid - Chlorsinn.

Fügt man zu Zinnchlorid tropfenweise Selenacichlorid, so tritt Erwärmung des Gemisches ein, und es sondern

1) Pogg. Ann. Bd. 108, S. 615.

sich, wenn Zinnchlorid vorwaltet, zwei nicht mischbare Flüssigkeiten aus, von denen die untere die Zinnselenverbindung, die obere das unverbundene Zinnchlorid ist. Läßt man das Glasrohr, in dem man die Flüssigkeit vermischt hat, langsam erkalten, so verwandelt sich die untere Flüssigkeit nach kurzer Zeit in ein Aggregat von Krystallen; das darüber stehende Zinnchlorid, welches von der Verbindung etwas gelöst enthält, kann dann abgegossen und die erhaltene Verbindung von Zinnchlorid mit Selenäichlorid leicht isolirt werden.

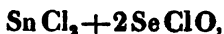
Die Verbindung erscheint in weissen, halb durchsichtigen Krystallen, über deren Form, wegen der Aggregation der Individuen, sich mit Sicherheit nichts aussagen läßt; sie ist leicht schmelzbar und zerfließt an der Luft äusserst schnell. In Wasser ist sie vollkommen auflöslich. Behufs der Ermittlung ihrer Zusammensetzung wurde eine gewogene Menge in salzsäurehaltigem Wasser gelöst, das Selen vermittelt schwefligsauren Ammoniak aus der heissen Lösung abgeschieden und das Zinn als Schwefelzinn gefällt. Zur Chlorbestimmung wurde die Substanz mit Wasser, dem etwas Weinsteinsäure zugesetzt worden, gelöst und daraus das Chlor, nach Beseitigung des Selen und Zinns mittelst Schwefelwasserstoff, als Chlorsilber gefällt. Folgendes sind die erhaltenen Versuchsergebnisse:

Substanz.	Selen.	Zinnoxyd.
1,502	— 0,402	— 0,380
1,645	— 0,435	— 0,431.
Substanz.	Selen.	Zinnoxyd.
1,422	— 2,673	— 0,348
1,382	— 2,692	— 0,324.

Hiernach berechnet sich der Procentgehalt an Selen, Zinn und Chlor:

Selen	26,76	— 26,44
Zinn	19,89	— 19,23 — 20,59 — 19,15
Chlor	46,37	— 48,05

Diese Zahlen führen zu der Formel:



nach welcher die Menge der genannten Bestandtheile sich folgendermaßen berechnet:

Selen	26,58	Proc.
Zinn	19,93	„
Chlor	48,06	„

Selenacichlorid - Titanchlorid.

Das Chlortitan vereinigt sich mit dem Selenacichloride unter Wärmeentwicklung. Die Verbindung beider Stoffe scheidet sich als ein gelblicher, anfangs weicher Körper ab, wenn man Selenacichlorid in Chlortitan tröpfelt. Nach dem Erkalten wird die Masse spröde. Man bringt sie, um sie vom überschüssigen Chlortitan zu befreien, auf einen getrockneten Ziegelstein unter eine Glocke neben Schwefelsäure und Kalk. Die Verbindung bildet nach Entfernung des überschüssigen Chlortitans ein gelbes, an der Luft nicht rauchendes Pulver, welches durch atmosphärische Feuchtigkeit sich schnell zersetzt. Vom Wasser wird es nicht klar aufgelöst, es bildet sich vielmehr ein weißer, unlöslicher Rückstand. Durch Erhitzen wird es unter Bildung von Titansäure größtentheils zersetzt.

Behufs der Analyse wurde die Verbindung mit verdünntem Ammoniak behandelt, welches selenige Säure und Salzsäure aufnimmt, die Titansäure zurückläßt. Aus der ammoniakalischen Flüssigkeit wurden nach erfolgter Neutralisation mit reiner Salpetersäure das Selen als Schwefelselen und das Chlor als Chlorsilber gefällt. Folgende Versuchsergebnisse wurden:

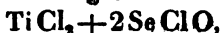
Substanz.		Titansäure.		Chlorsilber.
0,737	—	0,112	—	1,570
1,220	—	0,189	—	—

Substanz.		Schwefelselen.		Chlorsilber.
1,025	—	0,567	—	2,180
1,212	—	0,662	—	—

Daraus folgt der Procentgehalt der Substanz an:

Titan	9,12	—	9,30
Selen	30,43	—	30,10
Chlor	52,55	—	52,46.

Diese Werthe rechtfertigen die Annahme der Formel:



nach welcher sich folgende Zahlen für die in Rede stehenden Bestandtheile der Verbindung berechnen:

Titan 9,33 Proc.

Selen 30,06 "

Chlor 54,44 "

Selenäcichlorid - Antimonsuperchlorid.

Auch diese Verbindung erzeugt sich durch directe Vereinigung beider Stoffe und scheidet sich nach dem Erkalten des Gemisches in feinen, nadelförmigen Krystallen aus, welche von dem Ueberschusse der denselben anhaftenden flüssigen Substanz in gleicher Weise wie die vorige Verbindung befreit wird.

Dieselbe bildet weisse Krystalle; sie ist schmelzbar, an der Luft schnell zerfließend. Die Analyse der Substanz, welche nach der für die Zinnverbindung zur Anwendung gebrachten Methode erfolgte, ergab Folgendes:

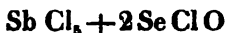
Substanz.	Selen.	Schwefelantimon.
0,670	0,108	0,293
0,884	0,154	—
1,064	0,184	0,442

Substanz.	Chlorsilber.
1,014	2,150.

Die procentische Zusammensetzung ergibt sich hiernach:

Selen	16,12	—	17,41	—	17,29
Antimon	26,24	—	24,93		
Chlor	52,28				

und ist durch die Formel:



ausdrückbar, welche erfordert:

Selen	16,95 Proc.
Antimon	25,95 "
Chlor	53,63 "

Die Acichloride des Schwefels bilden mit Chlormetallen ähnliche Verbindungen; der Verf. ist mit deren Untersuchung beschäftigt.

IX. *Neue photographisch-chemische Untersuchungen, die Lichtempfindlichkeit des Iodsilbers betreffend; von Dr. Hermann Vogel.*

Zahlreiche Untersuchungen über die Theorie der Photographie, über das Wesen jener eigenthümlichen Veränderungen, welche Chlorsilber, Bromsilber und Iodsilber im Licht erleiden und ihren Einfluß auf die photographische Bilderzeugung sind seit einer Reihe von Jahren veröffentlicht worden. So großer Fleiß nun auch auf dieselben verwendet worden ist, so interessante Daten auch an das Tageslicht gefördert worden sind, so ist doch der Einfluß derselben auf die photographische Praxis nur von untergeordneter Bedeutung gewesen. Die Praxis ist der Theorie vorangeilt, und hat die letztere mehr gelehrt als von ihr gelernt.

Dies gilt namentlich mit Bezug auf den Negativ-Proceß.

In sofern ist es kein Wunder, daß die Praxis mehr Verehrer gefunden hat, als die Theorie, daß verhältnißmäßig nur wenige Forscher sich mit der letzteren beschäftigen, während die Zahl derer, welche die erstere zu vervollkommen suchen, Legion ist.

Dennoch kann ich mich der Ueberzeugung nicht verschließen, daß die Zukunft der Photographie nur auf gründlicher Erkenntniß der physikalischen und chemischen Prozesse, welche das Licht bewirkt, beruhe und deshalb habe ich unverdrossen meine Untersuchungen über dieselben, deren erster Theil bereits veröffentlicht ist ¹⁾, weiter geführt und übergebe hiermit dem Publicum eine weitere Frucht meiner Studien, eine Reihe von Resultaten, die wie ich glaube, das Dunkel aufhellen, welches über viele photographisch-chemische Prozesse noch verbreitet ist.

Das Licht wirkt auf viele chemische Verbindungen ganz analog der Wärme.

1) Pogg. Ann. Bd. 119 S. 497.

Es giebt viele Verbindungen, die *unmittelbar* durch Wärme zersetzt werden z. B. Quecksilberoxyd, *Silberoxyd*, die durch bloße Erwärmung in ihre Bestandtheile zerfallen, andere dagegen werden durch die Wärme nur zersetzt bei Gegenwart eines Körpers, der sich mit einem der freiwerdenden Bestandtheile verbindet; so Kupferoxyd und Eisenoxyd bei Gegenwart von Wasserstoff.

Aehnlich sind die Wirkungen des Lichtes. Gewisse Körper — wie Silberoxyd, Chlorsilber, Quecksilberoxyd — werden direct durch das Licht zersetzt, andere nur bei Gegenwart eines Körpers, der sich dabei mit einem der freiwerdenden Bestandtheile verbindet, so *Eisenchlorid*, Uransalze, chromsaure Salze etc. bei Gegenwart von organischen Substanzen (Aether, Papier etc.) die das freiwerdende Chlor event. den Sauerstoff absorbiren; *Wasser* bei Gegenwart von Chlor, das sich mit dem entwickelnden Wasserstoff zu Chlornwasserstoff verbindet. Diese fremden Substanzen, welche die Zersetzung vieler Körper durch das Licht bedingen, spielen in der Photographie eine wichtige Rolle, selbst dann, wenn man mit einem direct lichtempfindlichen Körper zu thun hat, dessen Zersetzung bei Gegenwart solcher Substanzen eine viel energischere ist. Beruht doch die ganze Differenz zwischen Dävanne und mir über die Frage, ob Chlorsilber im Lichte zu Chlortür oder zu *metallischem* Silber reducirt wird, einfach auf der Bedingung, ob das Chlorsilber im reinen Zustande oder in Berührung mit organischen Substanzen (Papier) belichtet wird. Im erstern Fall bildet sich Silberchlortür, im letztern metallisches Silber. Daher der tiefgehende Einfluß, den das Papier, die Leimung desselben, das Collodion auf die photographischen Prozesse ausübt.

Das Verhalten des Chlorsilbers und Bromsilbers im Licht ist ziemlich einfach. Beide zersetzen sich im reinen Zustande *unter Freiwerden von Chlor und Brom* und unter Zurücklassung von einem violetten resp. grau violetten Körper, der an Salpetersäure kein metallisches Silber abgiebt. (A. a. O.)

Räthselhafter ist dagegen das Verhalten des Iodsilbers. Das mit Ueberschuß von Iodkalium gefällte verändert sich im Lichte *gar nicht*, das mit Ueberschuß von Silbersalzen gefällte färbt sich blaß graugrün, *ohne das aber eine Spur Iod frei würde*; ein Umstand der mich veranlaßte anzunehmen, daß Iodsilber überhaupt keine Zersetzung im Licht erleidet. Silberlösung befördert die Veränderung des Iodsilbers im Licht bedeutend.

Warum ist mit Ueberschuß von Iodid gefälltes reines Iodsilber lichtunempfindlich? Warum das mit Ueberschuß von Silbersalz gefällte lichtempfindlich? Welcher Art ist die Veränderung, welche das letztere erleidet? Warum befördert Silbernitrat so beträchtlich die Wirkung des Lichtes auf Iodsilber? etc.

Das Dunkel was über diesen Wirkungen des Lichtes liegt, mußte sich noch mehr verdichten, als Poitevin mit der seltsamen Entdeckung hervortrat, daß auch Tannin und ähnliche Substanzen *als Sensibilisatoren wirken*, d. h. die Veränderung des Iodsilbers im Lichte ebenso begünstigen wie salpetersaure Silberlösung (Photogr. Archiv 1863).

Tannin, dieser von Silbersalz so durchaus verschiedene Körper, der eine Reductions-, der andere ein Oxydationsmittel, wirkt analog dem Silbersalz!!!

Wer löst dieses Räthsel?

Langes Nachdenken und mehrfache darauf gegründete Versuche zeigte mir nun, daß beide Körper *salpetersaures Silberoxyd* und *Tannin*, so different sie auch seyn mögen, dennoch etwas gemeinsames haben: *Beide absorbiren mit großer Leichtigkeit freies Iod*. Man tröpfe Silberlösung zu Iodstärke, die Entfärbung erfolgt augenblicklich, (darauf beruht ja meine Silbertitrimethode)¹⁾. Man tröpfe *Tanninlösung* oder *Gallussäurelösung* zu Iodstärke, sie wird ebenfalls entfärbt.

Diese Thatfachen führten mich auf die Vermuthung, daß sich *Iodsilber* im Lichte ähnlich wie Uransalze, Eisen-

1) Pogg. Ann 1868, Heft II.

salze verhalte, d. h. nur bei Gegenwart eines Körpers zersetzbar sey, der das Iod zu absorbiren im Stande ist.

Um diese Vermuthung zu prüfen, wählte ich einen dritten Körper, der ebenfalls freies Iod leicht absorbirt, aber in seinen sonstigen Eigenschaften vom Silbersalz sowohl als auch vom Tannin wesentlich verschieden ist, nämlich das *arsenigsaure Natron*.

5 Grm. arsenige Säure

2½ Grm. kohlen-saures Natron,

wurden in 50 Cub.-Cent. Wasser gelöst und diese Lösung auf etwas mit Ueberschuß von Iodkalium gefälltes, also lichtunempfindliches Iodsilber gegossen. *Trotz des trüben Tageslichtes war schon nach wenigen Minuten eine leichte Verdunklung wahrnehmbar.* Am nächsten Morgen hatte sich das Iodsilber genau ebenso *grünlich* gefärbt, wie bei der Exposition unter salpetersaurer Silberlösung. Der Versuch wurde mit directem Sonnenlicht wiederholt. Hier färbte sich das Iodsilber beim Schütteln schon binnen wenigen Secunden *graugrünlich*. Eine gleichzeitig ins Dunkle gestellte Probe veränderte sich nicht im geringsten.

Jetzt versuchte ich noch mehrere das Iod kräftig absorbirende Körper. Zunächst möglichst neutrale *salpetersaure Quecksilberoxydlösung*.

Schom im diffusen Licht färbte sich das Iodsilber unter dieser Lösung innerhalb weniger Minuten *grün*.

Eine zweite Probe ins Dunkle gestellt *blieb vollkommen hellgelb*.

Ein dritter das Iod absorbirender Körper ist der *Brechweinstein*. Iodstärke wird von einer Lösung desselben, *obgleich nur langsam*, entfärbt, schneller bei Gegenwart von kohlen-saurem Natron; dem analog war sein Verhalten als Sensibilisator. *Iodsilber färbte sich in Berührung damit im Licht langsam grau, schneller bei Gegenwart von kohlen-saurem Natron.*

Ein vierter das Iod kräftig absorbirender Körper ist das *Zinnsalz* (Zinnchlorür). Ich löste dieses mit Salmiak in Wasser und brachte es auf unempfindliches Iodsilber.

Es färbte sich schon nach wenigen Minuten im diffusen Lichte schnell *graugrün*, das freie suspendirte Pulver *braun*.

Eine im Dunkeln stehende Probe veränderte sich nicht im Geringsten.

Von allen hier versuchten Körpern scheint Zinnsalz der kräftigste Sensibilisator zu seyn.

Tannin kam ihm in seiner Wirkung am nächsten, auch unter diesem färbten sich die gröberen Theile des Iodsilbers *grün*, die feineren *braun*.

Auf Grund dieser Versuche, welche sämmtlich meine oben geäußerte Vermuthung bestätigen, glaube ich den Satz aussprechen zu dürfen:

Diejenigen Körper, welche freies Iod leicht absorbiren und dasselbe chemisch binden, wirken sensibilisirend auf Iodsilber, d. h. sie veranlassen die Veränderung desselben im Lichte.

Mit Rücksicht darauf kann es wohl keinem Zweifel unterliegen, daß die Veränderung des Iodsilbers in Licht in einer *chemischen Zersetzung* besteht.

Reines Iodsilber ist wahrscheinlich im Lichte überhaupt nicht zersetzbar.

Ob die gedachten Sensibilisatoren selbst bei der Iodaufnahme eine Zersetzung erleiden (wie dieß in den meisten Fällen der Fall seyn wird) lasse ich vorläufig außer Acht.

Daß diese Substanzen in gleicher Weise, je nach ihrer Fähigkeit Brom und Chlor zu absorbiren, auch die Zersetzung des *Bromsilbers* und *Chlorsilbers* im Lichte befördern; versteht sich nach den bereits vorliegenden Erfahrungen wohl von selbst und ist durch meine früheren Untersuchungen bereits erwiesen. Nur ist ihre Gegenwart hier nicht Bedingung der Zersetzbarkeit im Lichte.

Die Erklärung des räthselhaften Verhaltens des Iodsilbers etc. etc. hat jetzt keine Schwierigkeit mehr. Mit Ueberschufs von Iodkalium gefälltes Iodsilber hält eine Spur Iodkalium zurück. Letzteres ist nicht im Stande Iod chemisch

zu binden, daher erfolgt *keine* Zersetzung¹⁾. Mit Ueberschuß von Silbersalzen gefälltes Iodsilber enthält noch eine Spur Silbersalz, welches Iod bindet, daher erfolgt *Zersetzung*. Selbstverständlich kann die vorhandene Spur Silbersalz nur eine sehr kleine Quantität Iod absorbiren, daher ist die vorgehende Zersetzung nur schwach und *hört* bald auf. Zugleich erklärt es sich hieraus, warum ich früher bei der Veränderung des Iodsilbers im Licht kein freies Iod nachweisen konnte. Ist dagegen Silbersalz im Ueberschuß vorhanden, wie bei nassen Platten, so ist die Zersetzung eine *bedeutend energischere und länger dauernde*, daher die *größere Empfindlichkeit*.

Tannin wirkt als Sensibilisator, weil es ebenso wie freies Silbersalz das Iod zu absorbiren im Stande ist. Noch eine ganze Reihe andere Erscheinungen lassen sich aus dem gegebenen Satze *leicht und ungezwungen* erklären. Ich behalte mir das für den nächsten Artikel vor.

Es wird, nachdem dieser photographische Fundamentalsatz aufgefunden ist, nicht schwer halten, noch Hunderte von unorganischen und organischen *festen, flüssigen und gasförmigen* Körpern zu finden, welche in gleicher Weise wie Silberlösung und Tannin, sensibilisirend wirken und dürften bei näherer Prüfung derselben, sich bald bedeutende Resultate für die photographische *Praxis* ergeben.

Man wird Trockenplatten construiren, die erst unmittelbar vor der Belichtung durch irgend einen *gasförmigen Sensibilisator* in der Kamera lichtempfindlich gemacht werden, man wird vielleicht unter den ätherischen Oelen Aldehyden, Oelsäuren Iod absorbirende Körper finden, welche sich durch leichte Löslichkeit in Alkohol und Aether auszeichnen und in den Kollodion-Negativ- und Positiv-Pro-

1) Nach einer Privatmittheilung von meinem Freunde Carey Lea in Philadelphia soll mit Ueberschuß von Iodkalium gefälltes Iodsilber dennoch bei *starkem Licht* lichtempfindlich seyn und schreibt derselbe, daß er sogar darauf Bilder erzeugt habe. Hier haben jedenfalls die organischen Substanzen des Kollodions wesentlich mitgewirkt. Ich habe neuerdings gefunden, daß selbst Iodsilberpapier sich nach monatelanger Exposition im Lichte bräunt.

cessen ohne Silberbad als Sensibilisatoren dem in Alkohol schwer löslichen Silbersalz vorzuziehen seyn dürften etc. etc.

Auf eines will ich hier noch aufmerksam machen, nämlich auf die grüne, im fein zertheilten Zustande braune Substanz, welche sich bei der Zersetzung des Iodsilbers im Licht bildet. Diese ist wahrscheinlich *Silberjodür*. Ich habe dieses Ag_2J durch Einwirkung von Iodkalium auf Silberchlorür als ein *grünes Pulver* dargestellt, das in seinem Aussehen vollkommen dem im Licht veränderten Iodsilber glich.

Berlin, im März 1865.

X. Ein neuer akustischer Interferenz-Versuch; von Dr. Ferdinand Deneke,

Lehrer an d. Königl. Provinzial-Gewerbschule zu Danzig.

(Aus d. Schriften d. naturf. Gesellsch. in Danzig, Neue Folge, Bd. I;
vom Hrn. Verf. übersandt.)

Die Analogien zwischen den optischen und akustischen Erscheinungen sind schon lange ein wesentliches Hilfsmittel zur Erleichterung des Verständnisses verwickelter Fälle in diesen Gebieten gewesen, und gewiss hat schon mancher Lehrer der Physik gleich mir den Wunsch gehegt, in der Akustik ein Analogon für den Newton'schen Interferenz-Versuch zu besitzen. Nach mehreren fehlgeschlagenen Versuchen ist es mir geglückt, dieses Ziel in höchst einfacher Weise ziemlich vollständig zu erreichen. Mir ist nicht bekannt, daß der Versuch in gleicher Weise von irgend Jemanden angestellt sey; auch meine hiesigen Fachgenossen und andere, denen ich davon Mittheilung machte, kannten ihn noch nicht; weshalb ich mich berechtigt glaube, denselben als neu zu beanspruchen.

Als Tonquelle benutze ich eine gedeckte Orgelpfeife von weiter Mensur, die ich mittelst eines langen Gum-

mischlauches mit einem Lange'schen Gebläse in Verbindung setze. Die Pfeife muß weit mensurirt seyn, damit sie die Obertöne gar nicht oder doch möglichst schwach erklingen läßt. Die Pfeife schiebe ich in ein weites, langes, an einem Ende verschlossenes Rohr, von starker Pappe. Wird die Pfeife nun angeblasen und in dem weiten Rohr hin und her geschoben, so lassen sich mit Leichtigkeit bald Punkte finden, an denen der Ton der Pfeife bis fast zum Unhörbaren abgeschwächt wird. Diese Abschwächung ist so bedeutend, daß das durch das Ausströmen der Luft aus dem Pfeifenspalte entstehende Geräusch den Ton der Pfeife völlig überdeckt. Bringt man die tönende Pfeife an das Ende des weiten Rohrs und zieht sie langsam zurück, so gelangt sie sehr bald an einen Punkt in welchem ihr Ton ein Maximum der Abschwächung erfährt. Mißt man jetzt von dem Labium der Pfeife bis zum geschlossenen Ende des weiten Rohres, so beträgt diese Entfernung ein Viertel der Wellenlänge des Tones; der Gangunterschied der directen und von der Rückwand reflectirten Wellen beträgt dann eine halbe Wellenlänge. Nebenbei bemerkt, ist die Entfernung des Labiums von der Rückwand etwas größer als die Länge der geschlossenen Pfeife, da der Ton eine etwas größere Wellenlänge, als das Vierfache der Pfeifenlänge hat. Der Grund dafür liegt in dem Austreten des am Labium liegenden Schwingungsbauches über die Gränze der Pfeife hinaus. — Der Punkt, an welchem die größte Abschwächung des Tones eintritt, läßt sich leicht mit sehr großer Genauigkeit und Sicherheit finden, da nur eine höchst geringe Verrückung der Pfeife aus ihrer Lage nothwendig ist, um den Ton sogleich merklich stärker werden zu lassen. In dem Dreifachen jener Entfernung wiederholt sich dieselbe Erscheinung, ebenso in dem Fünffachen, überhaupt jedem ungeraden Vielfachen derselben, da hier jedesmal der erforderliche Gangunterschied von einer halben Wellenlänge zwischen directen und reflectirten Wellen eintritt. In der Mitte zwischen je zweien benachbarten solcher Punkte sollte der Ton ein

Maximum der Verstärkung erlangen. Wenn auch von Punkten, in denen die Abschwächung am stärksten ist, ausgehend, der Ton sich verstärkt und diese Verstärkung mit Leichtigkeit zu beobachten ist, so läßt sich doch nicht mit Sicherheit der Punkt finden, in welchem diese Verstärkung ihr Maximum erreicht; für die Messung der Wellenlänge ist dieses übrigens auch gleichgültig, da die Lage der Punkte, in welchen die größte Abschwächung stattfindet, hinreichende Mittel für die Bestimmung der Wellenlänge bietet. Die Lage dieser Punkte läßt sich aber mit Leichtigkeit und großer Genauigkeit mittelst eines in das Rohr geschobenen Maaßstabes messen und die folgenden, auf diese Weise erhaltenen Zahlen liefern den Beweis von der Schärfe, welche diese Methode der Messung der Wellenlänge von Tönen bietet. Einige dieser Messungen habe ich in der ordentlichen Sitzung unserer Gesellschaft am 15. Juni dieses Jahres ausgeführt.

Die Länge des weiten cylindrischen Rohrs beträgt 1,363 Meter, der Durchmesser desselben 0,153 Meter, die Länge der gedeckten Pfeife vom Spalt bis zum Deckel 0,190 Meter.

Die Entfernungen der einzelnen Punkte, in denen die Abschwächung des Tones ein Maximum war, von der Rückwand des weiten Rohres betrugen:

I — 0,242 Meter

II — 0,717 „

III — 1,188 „

somit die Entfernung zwischen I und II 0,475 Meter und zwischen II und III 0,471 Meter. Wiederholte, von einander unabhängige Versuche gaben Resultate von gleicher Uebereinstimmung. — Das Vierfache der Entfernung I würde die Wellenlänge seyn, also 0,968. Nimmt man dagegen das Doppelte der Entfernung zwischen I und II und zwischen II und III, was ebenfalls die Wellenlänge geben muß, so erhält man 0,945, welche allerdings eine nicht unbedeutende Differenz gegen das erste Resultat zeigt. Ein ganz ähnliches Resultat habe ich auch bei andern Pfeifen erhalten, und es scheint somit, als ob die Reflexion der

Schallwellen von der Rückwand eine kleine Veränderung in der Lage gleicher Schwingungszustände bedinge.

Ich verschaffte mir zwei Pfeifen, deren Töne sehr genau (nach dem Gehör abgestimmt, da mir andere Hilfsmittel fehlen) um ein Quintenintervall von einander abstanden, und zwar gab die eine das f der eingestrichenen und die andere das c der zweigestrichenen Octave. Erstere hatte eine Länge von 0,2 Meter, letztere von 0,135 Meter. Mit der ersten Pfeife wurden folgende Resultate erhalten:

I — 0,266 Meter

II — 0,763 "

III — 1,273 "

Differenzen: zwischen I und II 0,495 Meter

" II und III 0,510 "

Das Mittel aus beiden 0,5 würde als Wellenlänge 1,00 Meter geben. Das Vierfache der ersten Entfernung würde dagegen als Wellenlänge 1,064 Meter liefern. Die zweite Pfeife gab folgende Zahlenwerthe:

I — 0,183 Meter

II — 0,503 "

III — 0,818 "

IV — 1,138 "

Differenzen: I und II — 0,320 Meter

II und III — 0,315 "

III und IV — 0,320 "

Also ist die Wellenlänge des Tones der zweiten Pfeife 0,64 Meter; als Vierfaches des ersten Abstandes wurde dafür 0,732 Meter erhalten.

In den beiden letzten Fällen würde das Verhältniß der Wellenlängen, welche aus den Abständen je zweier benachbarter Punkte, in denen die größte Abschwächung stattfindet, erhalten sind, ein dem Quintenintervall völlig entsprechendes seyn, denn 1 und 0,64 verhalten sich sehr nahe wie 3 zu 2, während die aus dem Vierfachen der ersten Entfernung ermittelten Wellenlängen diesem Verhältnisse nicht entsprechen. Ich nehme also keinen Anstand, die ersten Wellenlängen als die richtigen anzusehen.

Die vorhin ausgesprochene Vermuthung, daß die Reflexion der Schallwellen von der Rückwand eine kleine Veränderung in der Lage gleicher Schwingungszustände bewirke, findet in den beiden letzten Fällen ihre Bestätigung. Der Grund dafür liegt wohl in unvollkommener Elasticität und vielleicht auch in der Rauigkeit der Rückwand, welche beide eine Anhäufung der Luft sowohl, wie eine Verdünnung derselben gestatten. Vielleicht geht es durch spätere Versuche den Ursachen dieser allerdings merkwürdigen Erscheinungen näher zu kommen; zufällig und etwa in einem Beobachtungsfehler begründet, können sie nicht seyn, da ich sie in allen Fällen beobachtet und die ersten Entfernungen mit gleicher Sorgfalt wie die andern gemessen habe.

Die Wellenlänge der Töne von gedeckten Pfeifen ist in der Wirklichkeit stets etwas größer als das Vierfache der Pfeifenlänge, welches sie theoretisch seyn sollte; auch von offenen ist sie mehr als das Doppelte der Länge der Pfeifen. Der Grund dafür liegt eben in der Ausdehnung der Schwingungsbäuche in der Luft über die Gränze der Pfeife hinaus, so daß also factisch eine Luftsäule schwingt, die länger ist, als die Pfeife. Werden diese Schwingungsbäuche an jener Ausdehnung behindert, so muß sich die Wellenlänge verkürzen und dadurch der Ton höher werden. Die Orgelbauer kennen diese Thatsache sehr gut; Pfeifen, die außerhalb der Windlade bei gleicher Windstärke für sich abgestimmt sind, stimmen nicht mehr, wenn sie auf die Windlade mit andern Pfeifen zusammengestellt werden. Es tritt diese Verstimmung allerdings nur bei Labialstimmen ein; bei Zungenwerken kann sie aus leicht begreiflichen Gründen nicht entstehen. Der technische Ausdruck für diese Erscheinung ist der, daß die Orgelbauer sagen, die Pfeifen können nicht abblasen.

Um die Veränderung in der Tonhöhe näher zu untersuchen, stellte ich einen Versuch mit der Pfeife von 0,19 Meter in einem andern Rohr an, dessen Durchmesser nur 0,066 Meter und dessen Länge 0,612 Meter betrug. Eine

bedeutende Erhöhung des Tones entstand wirklich und die Punkte, in denen das Maximum der Abschwächung eintrat, lagen in Entfernungen von

I — 0,21 Meter

II — 0,55 „

von dem geschlossenen Ende des Rohrs. Diesen Entfernungen entspricht eine Wellenlänge von 0,68 Meter. Ist die Mensur der Pfeife im Verhältniß zum weiteren Rohr zu groß, so schlägt der Ton leicht in den Oberton der Pfeife über; übrigens habe ich in einem solchen Falle auch Vertiefungen des Tones beobachtet, es setzen sich dann gemeinschaftliche Schwingungen der Luftsäule der Pfeife und des weiten Rohres zusammen, die sich mit der Lage der Pfeife im weiteren Rohre ändern.

Aus allen, im Vorhergehenden angeführten Thatsachen geht nun hervor, daß die Luftsäule in dem weiten Rohre, wenn dessen Weite wenigstens so groß ist, daß sie auf die Höhe des Tones keinen Einfluß ausübt, durch den Ton der Pfeife in stehende Schwingungen versetzt werde, daß aber diese gänzlich unabhängig von der Länge des weiten Rohres sind. Dagegen werden sie ausschließlich durch die Wellenlänge des Tones, der sie erzeugt, bedingt.

Ich möchte sehr gern weitere Versuche in dieser Richtung anstellen, namentlich andere Tonquellen, etwa eine durch einen Elektromagneten in Schwingungen versetzte elastische Feder anwenden, wodurch dann die Möglichkeit der directen Messung von Tonwellen in verschiedenen Gasen, mit denen das weite Rohr ja nur gefüllt zu werden brauchte, gegeben wäre; allein der mir zur Disposition stehende physikalische Apparat enthält kaum das Allernothwendigste für den physikalischen Elementarunterricht. So muß ich denn die Verfolgung dieses Zieles glücklicher situirten Fachgenossen überlassen. Da aber die von mir beschriebenen Versuche in der angegebenen Weise sich sehr leicht ausführen lassen und dieselben eine mir oft genug fühlbar gewesene Lücke in dem Vortrage der Akustik ausfüllen, so habe ich mich zu deren Veröffentlichung auf den

Wunsch meiner hiesigen Collegen jetzt schon entschlossen. Eine Thatsache jedoch, die ich beobachtet habe, will ich noch hinzufügen. Wenn man statt einer Pfeife von weiter Mensur eine enger mensurirte, die also aufser ihrem Grundton noch ihren ersten Oberton erklingen läßt, eine Pfeife aus dem Register »Quintaten« der Orgel, zu den erwähnten Versuchen benutzt; so findet man, daß an einer Stelle des weiten Rohrs der Grundton verschwindet, und der Oberton bestimmt und klar hervortritt, während an einer andern Stelle der Oberton verschwindet und der Grundton allein erklingt. Die Messung der Lage dieser Punkte ist allerdings mit größeren Schwierigkeiten verknüpft, allein das Spiel der beiden Töne mit einander ist so interessant, daß auch dieser Versuch zu einem sehr instructiven Vorlesungsversuche sich eignet. In seinen Consequenzen wäre er der Repräsentant des Newton'schen Versuches mit weißem Lichte in der Akustik, während die ersten Versuche die Vertreter desselben mit einfarbigem Lichte darstellen.

Danzig, im September 1864.

XI. *Zur Theorie der Hagelbildung;* *von Dr. Th. Reye,*

Privatdocent in Zürich.

In meiner Arbeit über »Aufsteigende Luftströme«¹⁾ habe ich bewiesen, daß die Mohr'sche Theorie der Hagelbildung anerkannten Gesetzen widerstreite. Neuerdings nun hat Hr. Dr. Berger²⁾ gegen meine Beweisführung einen Einwand erhoben, welcher auch gegen meine weiteren Untersuchungen über die Entstehung der Gewitter, Wasserhosen und Tornado's geltend gemacht werden könnte.

1) Schölmilch's Zeischrift f. Math. u. Phys. Phys. Bd. 10 S. 250.

2) Diese Ann. 1865 Bd. 124, S. 427.

Es möge mir gestattet seyn, diesen Einwand mit wenigen Worten zu entkräften. Zur Erläuterung schicke ich folgende Sätze aus meiner oben angeführten Arbeit voraus:

»Mohr¹⁾ ist der Ansicht, daß die Hagelwolke durch einen starken niedersinkenden Luftstrom hervorgebracht wird, welcher die große Kälte der oberen Luftschichten hinabträgt in die Wolkenregion, dort den atmosphärischen Wasserdampf verdichtet und sogar das so gebildete Wasser zu Hagel gefrieren macht. Ein heftiges Herabstürzen kalter Luft ist oft genug bei Hagelstürmen beobachtet worden. Mohr glaubt die Ursache dieser Bewegung in der Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes gefunden zu haben.«

»Er geht nämlich von der Thatsache aus, daß gesättigter Wasserdampf ein ungemein viel größeres (z. B. bei 0° ein mehr als 180000 mal so großes) Volumen hat, als das Wasser, aus welchem er entstanden ist. Durch Verdichtung desselben an irgend einem Punkte der Atmosphäre muß daher nach Mohr eine »ganz ungeheure« Raumverminderung eintreten. Diese »Vacuumbildung« hat eine starke Ansaugung, ein »Einschlürfen« von Luft, namentlich aus den oberen Schichten zur Folge, welche dann durch ihre Kälte eine neue Condensation verursacht usw.«

»Könnte der Dampf sich irgendwo ganz oder theilweise verdichten ohne seine latente Wärme abzugeben, so würde allerdings das Volumen der mit ihm gemischten Luft sich verkleinern in dem Verhältniß des verschwindenden Dampfdrucks zum ganzen atmosphärischen Druck. Doch ist diese Volumverminderung nicht bedeutend, weil bei atmosphärischen Temperaturen die Spannung des Wasserdampfes sehr gering ist. Nun aber vergrößert außerdem die freigewordene Verdampfungswärme das Luftvolumen beträchtlich. Die Rechnung zeigt, daß bei den gewöhnlichen Lufttemperaturen von -10 bis $+35$ Grad Celsius diese Volumvergrößerung um mehr als das Fünffache jene Verkleinerung übersteigt. Die Mohr'sche Einschlürfungs-Theorie

1) Diese Ann. Bd. 117, S. 89.

ist daher nicht statthaft; und durch die Condensation des atmosphärischen Wasserdampfs kann ein *niedersinkender* Luftstrom nicht hervorgerufen werden. Wohl aber kann der Wasserdampfgehalt der Luft zur Ursache *aufsteigender* Luftströme werden; denn die Verdichtung des Dampfes ruft eine Ausdehnung der Luft hervor, vergrößert also den Auftrieb derselben.«

Diesen Ausführungen gegenüber äußert nun Hr. Berger in seiner interessanten Abhandlung über Gefrieren des Wassers und Hagels folgendes: »die Entstehung eines leeren Raumes durch Condensation könnte dann erst verworfen werden, wenn bewiesen würde, daß die die Wärme leitende Luft *in derselben Zeit* sich ausdehnte, in welcher die Condensation erfolgt«. Ich glaube nicht nur den hier verlangten Beweis führen, sondern auch zeigen zu können, daß gerade wegen des geringen Leitungsvermögens der Luft die Vacuumbildung durch Condensation zur Unmöglichkeit wird.

Stellen wir uns in der Atmosphäre irgend einen Raum vor, z. B. einen Würfel von 10 Meter Höhe, in welchem sich Wasserdampf verdichtet. Wenn die Verdichtung, wie Mohr voraussetzt, schnell vor sich geht, so kann die freiwerdende Verdampfungswärme nur von den 1000 Cubikmetern Luft, in welchen der Dampf enthalten ist, und den unmittelbar benachbarten Lufttheilen aufgenommen werden. Diese allein dehnen sich deshalb aus, und zwar fünfmal so stark, als sie sich in Folge der Condensation zusammenziehen würden, wenn keine Wärme frei würde. Die 1000 Cubikmeter dehnen sich *gleichmäßig* aus, wenn die Condensation überall in gleicher Weise vor sich geht; sollte aber der gesammte Dampf nur in einem Theile des Luftquantums sich verdichten, was kaum wahrscheinlich ist, so muß zufolge meiner Rechnungen *dieser Theil* sich so stark erwärmen und folglich ausdehnen, daß seine Expansion die Contraction der übrigen Luft um mehr als das Fünffache übersteigt. Das Wärmeleitungsvermögen der Luft kommt dabei wenig in Betracht. Denn wenn der Dampf sich conden-

siren soll, so muß ihm seine latente Wärme *nothwendig* abgenommen werden, und zwar von der Luft, in der er enthalten ist, wenn kein anderer Körper vorhanden ist. Leitet die Luft gut, so nimmt sie die Wärme rasch auf und die Condensation kann schnell vor sich gehen; wo nicht, so verdichtet sich der Dampf langsamer, wobei jedoch nicht zu übersehen ist, daß er ungemein fein in der Luft vertheilt ist, also mit derselben in der innigsten Berührung steht, und auch bei schlechter Leitung seine latente Wärme leicht abgeben könnte. Mit einem Wort: *Die Wärme-Aufnahme seitens der Luft und somit auch die Ausdehnung der letzteren muß gleichzeitig mit der Condensation des Wasserdampfes stattfinden.*

Wäre das Leitungsvermögen der Luft sehr groß, so würde dasjenige Luftquantum, in welchem die Condensation eintritt, die freigewordene Wärme sofort weiterleiten. Und in diesem Falle ist allerdings eine, wenn auch eine schwache Contraction möglich. Bei einer sehr langsamen Nebelbildung mag eine solche, ganz allmählich eintretende Volumverminderung auch nicht selten stattfinden; aber von einer Vacuumbildung, die ein eigentliches »Einschlürfen« benachbarter Luftmassen zur Folge hätte, kann dabei offenbar keine Rede seyn.

Natürlich muß ich bezüglich der Rechnungen, auf welche ich mich hier berufen habe, auf meinen oben erwähnten Aufsatz verweisen.

Zürich, den 17. Mai 1865.

XII. Distanzmesser ohne Standlinie und ohne Winkelmessung; von Sigmund Merz.

(Aus d. Kunst- und Gewerbeblatt für das Königl. Bayern, Aprilheft 1865; vom Hrn. Verf. übersandt.)

Schon vor Jahren mit der Herstellung eines Distanzmessers ohne Standlinie und ohne Winkelmessung beschäftigt,

leider aber durch anderweitige Berufsgeschäfte bisher von dem gedachten Vorhaben immer wieder abgezogen, kommt mir so eben der treffliche Aufsatz des Hrn. Dr. H. Emsmann in Poggendorff's Annalen Bd. 124, S. 337 über den vorwürfigen Gegenstand zu. Weit entfernt, das Princip desselben nicht neu oder den Distanzmesser unpraktisch finden zu wollen, dürfte er doch für Linierofficiere wie in sonstigen ähnlichen Fällen des Gebrauches sich vielleicht nicht compendiös genug erweisen, da Hr. Dr. Emsmann für das bereits berechnete Instrument eine Länge von etwa $5\frac{1}{2}$ Fufs beansprucht.

Ich fand mich daher veranlaßt meine früheren Arbeiten wieder aufzunehmen und greife dabei auf meinen Brennweitenmesser zurück, dessen Beschreibung zuerst ebenfalls in Poggendorff's Annalen Bd. 64, S. 321 erschien¹⁾. Derselbe besteht, wie bekannt, aus einem für Parallelstrahlen accommodirten Fernrohre. Er mißt die Focalweite eines Glases durch einfaches Vorhalten desselben vor das Object dieses Fernrohres, wenn durch die besagte Combination nach einem verrückbaren Objecte gesehen und dessen Entfernung vom Glase auf einem Maßstabe abgelesen wird, sobald das Object im Fernrohre scharf erscheint, indem alsdann die abgelesene Entfernung gleich der Focalweite des vorgehaltenen Glases seyn muß.

Auf dieses Princip denke ich jetzt die Construction eines Distanzmessers zu basiren oder besser gesagt, der erwähnte Brennweitenmesser, in größerer Dimension ausgeführt, scheint mir schon der verlangte Distanzmesser ohne Standlinie und ohne Winkelmessung zu seyn. Er ist ja tauglich Distanzen durch unmittelbares Anvisiren zu messen, da bei dem in Rede stehenden Apparate Brennweite und Entfernung ganz identische Größen sind. Man bedarf eben nur für jede gewünschte Distanz das passende Correctionsglas oder eine Combination von Gläsern, die eine größere Menge solcher Correctionsgläser entbehrlich macht. Betrachten wir uns in dieser Absicht die bekannte optische Formel

1) Siehe Kunst- und Gewerbeblatt, Jahrgang 1851, S. 261.

$$P = \frac{p(p' - d)}{p + (p' - d)}$$

in der uns p und p' die Focalweiten zweier Gläser, d ihre Distanz und P die resultirende Brennweite der Combination pp' vorstellen, so sehen wir auf den ersten Blick, daß bei einem variablen d , (p und p' constant angenommen) auch die resultirende Brennweite variabel wird, und erhalten daraus die Construction der gewünschten Universal-Corrections-Combination die für $d = 0$ zugleich ihren relativ größten Werth erreicht.

Da es ferner eine ganz natürliche Forderung an einen Distanzmesser ist, daß er möglichst große Distanzen messe, so erfahren wir aus obiger Formel zugleich, wie wir über den Werth von p und p' disponiren müssen, wenn R ein Maximum werden soll. Nachdem wir vorerst $d = 0$ setzen, setzen wir jetzt $R = \infty$, woraus

$$R = \infty = \frac{pp'}{p - p'}$$

folgt, daß $p - p' = 0$ oder die Werthe von p und p' gleich groß und p' negativ genommen werden müssen.

Wir brauchen somit, um den gedachten Distanzmesser zu construiren, alles zusammengefaßt, ein für Parallelstrahlen corrigirtes Fernrohr und zwei Linsengläser von äquivalenter Focalweite, das eine positiv, das andere negativ, dieselben so dem Fernrohre vorgesteckt, daß ihre Entfernung unter sich innerhalb gewisser Gränzen verändert werden kann, und schließlich ihre gegenseitige Stellung in ein sichtbares Maas überzutragen, da aus diesem die zu ermittelnde Distanz des anvisirten Objectes resultirt.

Um dabei bezüglich des Werthes von pp' oder der Größe $\pm p$, von der nunmehr die Größe d abhängt, ins Klare zu kommen, wollen wir annehmen, daß eine Größe von 0,001 Zoll durch mechanische Hilfsmittel sich noch völlig sicher bestimmen lasse. Unter dieser Voraussetzung wäre schon bei einem Werthe von 20 Zollen für $\pm p$ die Möglichkeit gegeben, Distanzen von über einer Meile zu messen. Da jedoch bei langen vorderen Vereinigungswei-

ten die Differenzen hinterer Vereinigungsweiten sehr klein ausfallen, so steht die Empfindlichkeit eines solchen Distanzmessers sehr in Frage und es erscheint wohl gerathen den Werth von $\pm p$ mindestens auf 100 Zolle zu erhöhen. Wir erhalten dabei für eine Object-Entfernung von:

500 Fufs	$d = 1,69491$
12000 » (1 Stunde)	$d = 0,08340$
24000 » (1 Meile)	$d = 0,03473$

oder nun eine etwa 35 mal grössere Empfindlichkeit als bei $\pm p = 20$, ohne dabei das ganze Instrument sehr wesentlich zu vergrößern, da für 500 Fufs Object-Distanz die Trennung der Linsen pp' noch nicht einmal $1\frac{1}{2}$ Zoll beträgt.

Berechnen wir jetzt den Werth der Linsendistanz für 1000 Fufs Object-Entfernung, so ergibt sich $d = 0,06949$, demgemäß für eine Object-Distanz-Differenz von 2000 Fufs noch eine Einstellungs-Differenz von 0,0139. Es heisst dies mit andern Worten und unter der obigen Voraussetzung; dafs eine Verrückung von 0,001 Zoll auf mechanischem Wege noch völlig sicher bestimmt werden könne, so viel als, dafs der gedachte Distanzmesser über 10000 Fufs Entfernung zweifelsohne eine Zunahme von je 200 Fufs messen lasse. Innerhalb 6000 Fufs oder $\frac{1}{4}$ Meile sind wohl schon je 30 Fufs mefsbar.

Wäre diese Empfindlichkeit übrigens nicht genügend, so giebt eine Vergrößerung von $\pm p$, wie aus vorstehender Deduction ersichtlich ist, unfehlbar die Mittel an die Hand, um jede gewünschte Genauigkeit zu erreichen.

Das Fernrohr selbst endlich anlangend, dürfte ein $1\frac{1}{2}$ füßiges Zugfernrrohr zuverlässig ausreichen. Es spricht dafür eine Erfahrung des Fraunhofer'schen Institutes, dem z. Z. vorzustehen ich die Ehre habe. Dasselbst ist es seit Langem Usage, Planflächen auf ähnliche Art zu prüfen und bedingt die mindeste Abweichung von der ebenen Form stets eine merkliche Einstellungs-Differenz schon bei Anwendung eines $1\frac{1}{2}$ füßigen Fernrohres. Mit Einrechnung eines solchen Fernrohres wird der Distanzmesser keinesfalls 2 Fufs Länge

übersteigen und noch als Hand-Instrument gelten dürfen. Es soll dabei freilich nicht gesagt seyn, daß eine Vergrößerung des Apparates zwecklos wäre, denn Genauigkeit der Messung oder Empfindlichkeit des Apparates stehen hier jedenfalls im geraden Verhältnisse zur Gröfse.

Wenn ich mir nun erlaube meinen Brennweitenmesser hiemit als Distanzmesser in die Praxis einzuführen, darf ich zu Gunsten des Mefsprincipes wohl noch einiger in der That ausgeführten grösseren Messungen Erwähnung thun. Es waren diess Brennweitenmessungen von Miren-Gläsern auf Entfernungen von mehreren hundert Fussen. Diese Gläser, von dem optischen Institute geliefert, finden sich auf den Sternwarten von Pulkowa, Kiew, Neuenburg, Palermo etc. Die Richtigkeit der Messung fand durch die nach Maafgabe der Brennweite aufgestellten Meridianzeichen dortselbst ihre volle Bestätigung.

Wirklich ausgeführte Distanzmesser hoffe ich in Kurzem der Oeffentlichkeit übergeben zu können.

XIII. *Das mechanische Aequivalent des Lichts;* von Prof. Julius Thomsen in Kopenhagen.

(Auszug aus einer Mittheilung an die Naturforscherversammlung in Stockholm, Juli 1863.)

Daß der Lichtstrahl eine mechanische Wirksamkeit enthält, unterliegt keinem Zweifel, aber über die Gröfse derselben hat man noch keine Bestimmungen. Ich habe mir daher die Aufgabe gestellt, wenigstens annähernd diesen Werth zu bestimmen. Da das Licht sich in Wärme umändern kann, wenn es von einer schwarzen und glanzlosen Schicht absorbirt wird, so kann man aus der Erwärmung durch die von Wärmestrahlen befreiten Lichtstrahlen auf die mechanische Thätigkeit des Lichtes schließen. Die Wärmeerzeugung der Lichtstrahlen wurde durch den Melloni'schen

Apparat bestimmt, da aber dieser Apparat nur für relative Untersuchungen benutzt worden ist, war es nothwendig die Resultate auf ein absolutes Maafs zu reduciren.

Es wurde deshalb die Angabe des Thermomultipliers mit der absoluten Ausstrahlung einer bekannten Wärmequelle verglichen. Als Wärmequelle wurde eine Glaskugel benutzt, welche mit warmem Wasser gefüllt, in verschiedenen Abständen von der Thermosäule aufgestellt wurde. Es enthielt die Kugel (incl. den Wasserwerth des Glases) 1351 Grm. Wasser; bei einer Temperatur von 50°C. war die Abkühlung der Kugel $0^{\circ},185$ in der Minute, und die Kugel erlitt demnach einen Wärmeverlust von $1351^{\circ},0^{\circ},185 = 250^{\circ}\text{C.}$ pro Minute.

Dieser Verlust stammt aber theilweise von der Ausstrahlung und theilweise von der Abkühlung durch die Berührung mit der Luft her. Berechnet man nach den Dulong'schen Formeln den Theil derselben, welcher auf die Strahlung fällt, so findet man bei einer Lufttemperatur von 17° für 1 Minute 102°C.

Es wurde diese Wärmequelle in einem Abstände von 0,8 Meter von der Thermosäule aufgestellt, und der Multiplikator zeigte alsdann einen constanten Ausschlag von $17^{\circ},8$. Es läßt sich also daraus schliessen, daß eine Wärme- oder Lichtquelle, die in einem Abstände von $0^{\text{m}},8$ von der Thermosäule aufgestellt, einen Ausschlag von $17^{\circ},8$ hervorbringt, ebenfalls in der Minute 102 Wärmeeinheiten ausstrahlt. Da aber die Angaben des Multipliers binnen gewisser Gränzen mit der Wärmestrahlung proportional sind, so wird unter diesen Umständen ein Ausschlag von 1° einer Wärmestrahlung von $5^{\circ},76$ in der Minute entsprechen.

Indem die Kugel nach und nach in verschiedenen Abständen von der Säule aufgestellt, und die Stellung der Multiplikatornadel beobachtet wurde, als die Temperatur des Wassers nur 50° betrug, wurden ähnliche Factoren für einige andere Abstände bestimmt, in welchen später die verschiedenen Lichtquellen aufgestellt werden sollten.

Ich stellte alsdann ein Licht in einem Abstand von $0^{\text{m}},8$

von der Säule und erhielt einen constanten Ausschlag der Nadel von $36^{\circ},5$ ¹⁾. Es war demnach *die ganze Ausstrahlung des Lichts, das 8,2 Grm. Wallrath pro Stunde verbrannte* $5^{\circ},76 : 36^{\circ},5 = 210^{\circ}$ in jeder Minute. Da die entsprechende Menge Wallrath ungefähr 1400° in der Minute entwickelt, so geht aus dieser Beobachtung hervor, daß nur $\frac{1}{7}$ der ganzen entwickelten Wärme die Flamme als strahlende Wärme und Licht verläßt, während $\frac{6}{7}$ der Wärmemenge durch die erwärmte Luft fortgeführt wird.

Es wurden alsdann Versuche mit stärkeren Flammen angestellt. Eine Moderateurlampe, deren Lichtstärke 8,6 war, und eine Gasflamme von 7,7 Lichtstärke wurden in einem Abstand von 2 Metern aufgestellt, und die Resultate auf das Wallrathlicht als Einheit bezogen. Die Resultate waren die folgenden:

Natur der Flamme	Lichtstärke	Austrahlung für die Lichteinheit in 1 Minute
Wallrathlicht	1	210°
Gasflamme	1,2	201
do.	7,7	199
Moderateurlampe	8,6	199

Es geht aus diesen Resultaten hervor, daß *die Strahlung der Flamme mit der Lichtintensität proportional ist, und daß sie für die Lichteinheit (8,2 Grm. Wallrath in der Stunde) ungefähr 200° in der Minute beträgt.*

Dieses ist aber die Wirkung der ganzen Strahlung; um den den Lichtstrahlen entsprechenden Theil zu bestimmen, müssen die Wärmestrahlen eliminiert werden. Es ist wohl kaum möglich die Wärmestrahlen vollständig von den Lichtstrahlen zu trennen, aber annähernd läßt es sich bewerkstelligen. Es schien mir hier am Geeignetesten die Absorption der Wärmestrahlen durch Wasser zu erreichen, und ich überzeugte mich durch verschiedene Versuche, daß die unsichtbaren Strahlen eine Wasserschicht von $0^{\circ},2$ nicht durchdringen oder wenigstens in so geringem Grade, daß sie keinen wahrnehmbaren Einfluß auf das Resultat ausüben.

Die Flamme des Bunsen'schen Gasbrenners entwickelt bekanntlich nur eine sehr geringe Lichtmenge; die Wärmestrahlung der Flamme ist detsungeachtet sehr groß. Ich beobachtete z. B., daß eine Bunsen'sche Lampe, die ohne

1) Der Versuch wurde in diesen, wie auch in andern Fällen, wo der Ausschlag groß ist, so angestellt, daß die Nadel vor dem Versteche der entgegengesetzten Seite abgelenkt wurde, und daß der wirkliche Ausschlag von 0° aus nicht über 30° betrug.

Luftzutritt eine Lichtstärke von 1,2 Lichteinheiten hatte und in der Minute 255 Wärmeeinheiten ausstrahlte, bei Luftzutritt und nicht leuchtender Flamme eine Wärmestrahlung von 196° in der Minute zeigte. Von diesen nicht leuchtenden Strahlen ging keine Spur durch 0,2 Meter Wasser; sobald aber der Luftzutritt aufhörte und die Flamme leuchtend wurde, gab die Nadel einen Ausschlag und zeigte, daß $4^{\circ},3$ durchstrahlten. Während die Nadel des Multipliers unverändert auf 0° stehen blieb, wenn die Strahlung der nichtleuchtenden Gasflamme durch das Wasser geschah, zeigte sich augenblicklich ein Ausschlag der Nadel, sobald die Flamme leuchtend gemacht wurde, z. B. durch Chlornatrium und andere flüchtige Verbindungen oder durch einen Platindraht.

Es zeigte sich ferner, daß die Strahlen, welche von einer leuchtenden Flamme durch die Wasserschicht gegangen waren, in sehr verschiedenem Grade von gefärbten Gläsern absorbiert wurden, während dies nur in geringem Grade der Fall war mit den Strahlen, ehe sie durchs Wasser geläutert waren.

Aus diesen verschiedenen Untersuchungen darf man wohl den Schluß ziehen, daß eine Wasserschicht von 20 Centimetern die Wärmestrahlen vollständig absorbiert und nur Lichtstrahlen durchläßt, oder daß die Absorption der Wärmestrahlen so vollständig ist, daß der Fehler unmerklich wird. Durch Versuche wurde alsdann der Verlust an Lichtstärke welcher bei der Strahlung durch eine solche Wasserschicht, die zwischen parallelen Glaswänden eingeschlossen war, bestimmt, und die Resultate auf die Lichtstärke des durch Wasser gestrahlten Lichtes reducirt. Die Lichtabsorption war 0,13.

Es wurde also zwischen der Flamme und der Thermosäule ein Glaskasten mit parallelen Wänden von Spiegelglas, die eine Wasserschicht von $0^m,2$ einschlossen, aufgestellt, und die Flamme alsdann in derselben Entfernung wie in den ersten Versuchen angebracht. Alle Verhältnisse waren also dieselben; nur daß die Strahlung jetzt durchs Wasser gehen mußte, so daß der Ausschlag der Multiplikatornadel nur von der Erwärmung, welche die absorbierten Lichtstrahlen hervorbringen konnten, abhängig war. Die Resultate waren die folgenden.

Natur der Flamme	Lichtstärke	Wärme- und Licht- strahlung in der Minute für die Lichteinheit	Lichtstrahlung in der Minute für die Lichteinheit
Wallrathlicht	1	210 ^c	4 ^c ,4
Moderateurlampe	6,25	—	3 ^c ,9
do.	8,6	199 ^c	4 ^c ,1
Gasflamme	7,7	199 ^c	4 ^c ,2
do.	1,2	201 ^c	3 ^c ,7

Das Mittel der Versuche ist 4^c,1 in der Minute, oder in Worten ist das Resultat:

eine Flamme, deren Lichtstärke gleich der eines Lichtes ist, welches 8,2 Grm. Wallrath in der Stunde verbrennt, strahlt als Licht in der Minute eine Wärmemenge aus, die 4,1 Grm. Wasser einen Grad Celsius erwärmen kann.

Die ganze Strahlung der Flamme, inclusive die Wärmestrahlen, beträgt aber ungefähr 200^c oder ist 50 Mal so groß als die der Lichtstrahlen, und die ganze Wärmeentwicklung des chemischen Processes der Flamme ist beim Licht und bei der Lampe etwa 350 und bei der Gasflamme etwa 1000 Mal so groß als diejenige, welche in den Lichtstrahlen auftritt.

Auf mechanisches Maass reducirt, stellt sich das mechanische Aequivalent des Lichts folgendermassen heraus:

die Einheit der Arbeitsmenge in der Secunde, nämlich 1 Kilogrm. gehoben auf die Höhe von 1 Meter in der Secunde, ist derjenigen gleich, welche die Lichtstrahlen enthalten, die aus einer Lichtquelle in der Secunde entspringen, deren Lichtstärke 34,9 Mal so groß ist als diejenige, welche in einem Lichte entwickelt wird, das 8,2 Grm. Wallrath in der Stunde verbrennt.

Dieses ist demnach das Maximum des mechanischen Aequivalent des Lichts; möglicherweise kann es durch spätere Versuche noch etwas reducirt werden, aber jedenfalls ist das Aequivalent sehr gering. Ich werde später die Untersuchungen mit intensiverem Licht, wie das Sonnenlicht und das elektrische Licht, fortsetzen.

**I. Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme
Formen der Hauptgleichungen der mechanischen
Wärmetheorie; von R. Clausius.**

(Vorgetragen in der naturf. Gesellsch. zu Zürich den 24. April 1865.)

In meinen bisherigen Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie habe ich vorzugsweise den Zweck verfolgt, eine sichere Basis für die Theorie zu gewinnen, indem ich namentlich den zweiten Hauptsatz, welcher dem Verständnisse viel schwerer zugänglich ist, als der erste, in seine einfachste und zugleich allgemeinste Form zu bringen und seine Nothwendigkeit zu beweisen suchte. Specielle Anwendungen habe ich nur in soweit durchgenommen, als sie mir entweder als Beispiele zur Erläuterung zweckmäßig oder für die Praxis von besonderem Interesse zu seyn schienen.

Je mehr nun aber die mechanische Wärmetheorie in ihren Principien als richtig anerkannt wird, desto mehr tritt in physikalischen und mechanischen Kreisen das Bestreben hervor, sie auf verschiedenartige Erscheinungen anzuwenden, und da die betreffenden Differentialgleichungen etwas anders behandelt werden müssen, als die sonst gewöhnlich vorkommenden Differentialgleichungen von äußerlich ähnlichen Gestalten, so stößt man bei den Rechnungen häufig auf Schwierigkeiten, welche der Ausführung hinderlich in den Weg treten, oder zu Fehlern Veranlassung geben. Unter diesen Umständen habe ich geglaubt, den Physikern und Mechanikern einen Dienst zu erweisen, wenn ich die Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie, indem ich von ihren allgemeinsten Formen ausgehe, in verschie-

dene andere auf specielle Voraussetzungen bezügliche Formen bringe, in welchen sie sich auf die verschiedenartigen besonderen Fälle unmittelbar anwenden lassen, und demnach bequemer für den Gebrauch sind, als in jenen allgemeinen Formen.

§. 1. Die ganze mechanische Wärmetheorie beruht auf zwei Hauptsätzen, dem Satze von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit und dem Satze von der Aequivalenz der Verwandlungen.

Um den ersten Satz analytisch auszudrücken, denken wir uns irgend einen Körper, welcher seinen Zustand ändert, und betrachten die Wärmemenge, welche ihm während dieser Zustandsänderung mitgetheilt werden muß. Bezeichnen wir diese Wärmemenge mit Q , wobei eine vom Körper abgegebene Wärmemenge als aufgenommene negative Wärmemenge gerechnet werden soll, so gilt für das einer unendlich kleinen Zustandsänderung entsprechende Element dQ der aufgenommenen Wärme folgende Gleichung:

$$dQ = dU + AdW.$$

Hierin bedeutet U die Gröfse, welche ich zuerst in meiner Abhandlung von 1850 in die Wärmelehre eingeführt und als die Summe der hinzugekommenen freien Wärme und der zu innerer Arbeit verbrauchten Wärme definiert habe¹⁾. W. Thomson hat für diese Gröfse später den Namen *Energie* des Körpers vorgeschlagen²⁾, welcher Benennungsweise ich mich, als einer sehr zweckmäfsig gewählten, angeschlossen habe, wobei ich aber doch glaube, dafs man sich vorbehalten kann, in solchen Fällen, wo die beiden in U enthaltenen Bestandtheile einzeln angedeutet werden müssen, auch den Ausdruck *Wärme- und Werkinhalt* zu gebrauchen, welcher meine ursprüngliche Definition in etwas vereinfachter Form wiedergiebt. W bedeutet die während einer Zustandsänderung des Körpers gethane äufsere Arbeit, und A das Wärmeäquivalent für die Einheit der Ar-

1) Diese Ann. Bd. LXXIX, S. 385, und Abhandlungensammlung Abth. I, S. 33.

2) *Phil. Mag.* 4th Ser. Vol. IX, p. 523.

beit oder kürzer *das calorische Aequivalent der Arbeit*. Hiernach ist AW die nach Wärmemaasse gemessene äussere Arbeit oder, gemäß einer kürzlich von mir vorgeschlagenen bequemeren Brennungsweise, das äussere *Werk*¹⁾.

1) Ich will bei dieser Gelegenheit über die Benennungsweise, welche ich in einem in meiner Abhandlungensammlung befindlichen Zusatze vorgeschlagen habe, einiges mittheilen. Es ist nämlich für die in der mechanischen Wärmetheorie vorkommenden Auseinandersetzungen unbequem, daß die Wärme und die mechanische Arbeit nach verschiedenen Maassen gemessen werden, so daß man nicht einfach von der Summe von Wärme und Arbeit oder von der Differenz aus Wärme und Arbeit sprechen kann, sondern dabei immer Ausdrücke wie »Wärmeäquivalent der Arbeit« oder »Arbeitsäquivalent der Wärme« gebrauchen muß. Ich habe daher vorgeschlagen, neben der nach gewöhnlichem mechanischem Maasse gemessenen Arbeit noch eine zweite Grösse einzuführen, welche *die nach Wärmemaasse gemessene Arbeit* bedeutet, d. h. denjenigen numerischen Werth der Arbeit, welchen man erhält, wenn man die Arbeitsgrösse, welche einer Wärmeeinheit äquivalent ist, als Einheit der Arbeit annimmt. Für diese Grösse habe ich den Namen *Werk* vorgeschlagen.

Betrachtet man nun das bei irgend einer Zustandsänderung eines Körpers gethane Werk, so ist in demselben das *innere* und das *äussere* Werk zu unterscheiden. Das gesammte innere Werk, welches gethan werden mußte, damit der Körper in seinen gegenwärtigen Zustand gelangen konnte, habe ich den *Werkinhalt* des Körpers genannt. Bei dieser Grösse ist zu bemerken, daß die Bestimmung ihres Werthes nur in der Weise möglich ist, daß man von irgend einem Anfangszustande ausgeht, und dann dasjenige innere Werk bestimmt, welches gethan werden mußte, während der Körper von diesem Anfangszustande in seinen gegenwärtigen Zustand überging. Man kann nun den Werkinhalt des Körpers entweder in der Weise angeben, daß man darunter einfach das von dem als gegeben vorausgesetzten Anfangszustande an gethane innere Werk versteht, oder so, daß man zu diesem letzteren noch eine unbekannte Constante addirt, welche den im Anfangszustande schon vorhandenen Werkinhalt bedeutet.

Ebenso verhält es sich natürlich auch mit der *Energie*, welche aus dem Werkinhalt und dem Wärmeinhalt besteht. Auch sie kann man nur so bestimmen, daß man dabei von irgend einem Anfangszustande ausgeht, und den Energiezuwachs betrachtet, welcher beim Uebergange aus diesem Anfangszustande in den gegenwärtigen Zustand stattfinden mußte. Bei der Angabe der Energie kann man sich dann entweder einfach auf diesen von dem gegebenen Anfangszustande an gerechneten Energiezuwachs beschränken, oder man kann sich zu demselben noch

Wenn man der Kürze wegen das äußere Werk durch einen einfachen Buchstaben bezeichnet, indem man setzt:

$$A W = w,$$

so kann man die vorige Gleichung folgendermaassen schreiben :

$$(I) \quad dQ = dU + dw.$$

Um den zweiten Hauptsatz auf die einfachste Art analytisch auszudrücken, wollen wir annehmen, die Veränderungen, welche der Körper erleidet, bilden einen *Kreisproceß*, durch welchen der Körper schliesslich wieder in seinen Anfangszustand zurückkommt. Unter dQ sey wieder ein Element der aufgenommenen Wärme verstanden, und T bedeute die vom absoluten Nullpunkte an gezählte Temperatur, welche der Körper in dem Momente hat, wo er dieses Wärmeelement aufnimmt, oder, falls der Körper in seinen verschiedenen Theilen verschiedene Temperaturen hat, die Temperatur des Theiles, welcher das Wärmeelement dQ aufnimmt. Wenn man dann das Wärmeelement durch die dazugehörige absolute Temperatur dividirt, und den dadurch entstehenden Differentialausdruck für den ganzen Kreisproceß integrirt, so gilt für das so gebildete Integral die Beziehung:

$$(II) \quad \int \frac{dQ}{T} \leq 0,$$

worin das Gleichheitszeichen in solchen Fällen anzuwenden ist, wo alle Veränderungen, aus denen der Kreisproceß besteht, *in umkehrbarer Weise* vor sich gehen, während in solchen Fällen, wo die Veränderungen *in nicht umkehrbarer Weise* geschehen, das Zeichen $<$ gilt ¹⁾.

eine unbekannte Constante hinzuaddirt denken, welche die im Anfangszustande schon vorhandene Energie bedeutet.

- 1) In meiner Abhandlung »über eine ~~un~~veränderte Form des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie« (diese Ann. Bd. XCIII), in welcher ich zuerst den auf Kreisprocesse bezüglichen allgemeinsten Ausdruck des zweiten Hauptsatzes gegeben habe, habe ich das Vorzeichen des darin vorkommenden Differentials dQ anders gewählt, als hier, indem dort ein von dem veränderlichen Körper an ein Wärmereservoir abgegebenes Wärmeelement positiv, und ein einem Wärmereservoir entzogenes Wärmeelement negativ gerechnet ist. Bei dieser

§. 2. Wir wollen nun zunächst die in der Gleichung (I.) vorkommenden Grössen in Bezug auf ihr Verhalten bei verschiedenen Arten von Veränderungen des Körpers näher betrachten.

Das *äussere Werk* w , welches gethan wird während der Körper aus einem gegebenen Anfangszustande in einen bestimmten anderen Zustand übergeht, hängt nicht blofs vom Anfangs- und Endzustande, sondern auch noch von der Art des Ueberganges ab.

Erstens kommt es darauf an, ob die äusseren Kräfte, welche auf den Körper wirken, und welche entweder von den ihnen entgegenwirkenden eigenen Kräften des Körpers überwunden werden oder umgekehrt diese letzteren überwinden, (wonach wir das äussere Werk als positives oder negatives unterscheiden), den eigenen Kräften des Körpers in jedem Augenblicke gleich oder von ihnen verschieden sind, wobei natürlich Verschiedenheiten immer nur in dem Sinne vorkommen können, dafs die überwindende Kraft gröfser ist, als die überwundene. Man kann nun freilich sagen, dafs jederzeit, wenn überhaupt eine Kraft eine andere überwinden soll, sie dazu gröfser seyn mufs, als diese; da aber der Unterschied zwischen ihnen beliebig klein seyn kann, so kann man den Fall, wo absolute Gleichheit stattfindet, als den Gränzfall ansehen, der, wenn er auch in der Wirklichkeit nie erreicht wird, doch theoretisch noch als möglich zu betrachten ist. Wenn Kraft und Gegenkraft verschieden sind, so ist die Art, wie die Veränderung vor sich geht, eine nicht umkehrbare.

Zweitens hängt, wenn festgesetzt ist, dafs die Veränderung in umkehrbarer Weise vor sich gehen soll, das

Wahl der Vorzeichen, welche bei gewissen allgemeinen theoretischen Betrachtungen bequem ist, hat man statt (II.) zu schreiben:

$$\int \frac{dQ}{T} \geq 0.$$

In der vorliegenden Abhandlung aber ist die im Texte getroffene Wahl, wonach eine von dem veränderlichen Körper aufgenommene Wärmemenge als positiv und eine von ihm abgegebene Wärmemenge als negativ gerechnet wird, überall beibehalten.

äußere Werk noch davon ab, welches die Zwischenzustände sind, die der Körper beim Uebergange aus dem Anfangszustande in den Endzustand nach einander durchläuft, oder, wie man sich bildlich ausdrücken kann, *auf welchem Wege* der Körper aus dem Anfangszustande in den Endzustand übergeht.

Die *Energie* U des Körpers, deren Element sich in der Gleichung (I.) neben demjenigen des äußeren Werkes befindet, verhält sich ganz anders. Wenn der Anfangs- und Endzustand des Körpers gegeben sind, so ist dadurch die Veränderung, welche die Energie erleidet, vollständig bestimmt, ohne daß man zu wissen braucht, wie der Uebergang aus dem einen Zustande in den anderen stattgefunden hat, indem weder der Weg des Ueberganges noch der Umstand, ob der Uebergang in umkehrbarer oder nicht umkehrbarer Weise geschieht, auf die dabei eintretende Aenderung der Energie einen Einfluß hat. Wenn also der Anfangszustand und der ihm entsprechende Werth der Energie als gegeben vorausgesetzt werden, so kann man sagen, daß die Energie durch den augenblicklich stattfindenden Zustand des Körpers vollständig bestimmt ist.

Was endlich die, während der Zustandsänderung von dem Körper aufgenommene *Wärme* Q anbetrifft, so muß diese, weil sie die Summe aus der Energieänderung und dem gethanen äußeren Werke ist, von der Art, in welcher der Uebergang des Körpers aus dem einen Zustande in den anderen stattfindet, in gleicher Weise abhängen, wie das äußere Werk.

Um nun das Gebiet, welches wir zunächst zu betrachten haben, abzugränzen, möge im Folgenden so lange, bis ausdrücklich gesagt wird, daß die nicht umkehrbaren Veränderungen auch in die Untersuchung mit einbegriffen werden sollen, immer vorausgesetzt werden, *daß wir es nur mit umkehrbaren Veränderungen zu thun haben.*

Die Gleichung (I.), welche den ersten Hauptsatz ausdrückt, gilt sowohl für umkehrbare als auch für nicht umkehrbare Veränderungen, und man braucht sie daher, um

sie speciell auf umkehrbare Veränderungen anzuwenden, äußerlich in keiner Weise zu modificiren, sondern muß nur festsetzen, daß unter w und Q dasjenige äußere Werk und diejenige Wärmemenge verstanden werden sollen, welche umkehrbaren Veränderungen entsprechen.

In der Beziehung (II.), welche den zweiten Hauptsatz ausdrückt, hat man, wenn sie auf umkehrbare Veränderungen angewandt werden soll, erstens ebenfalls unter Q die Wärmemenge zu verstehen, welche sich auf umkehrbare Veränderungen bezieht, und zweitens hat man statt des doppelten Zeichens \leq einfach das Gleichheitszeichen anzuwenden. Man erhält also für alle umkehrbaren Kreisprocesse die Gleichung:

$$(IIa) \quad \int \frac{dQ}{T} = 0.$$

§. 3. Um mit den Gleichungen (I.) und (IIa.) rechnen zu können, wollen wir annehmen, der Zustand des betrachteten Körpers sey durch irgend welche Größen bestimmt. Fälle, welche besonders oft vorkommen, sind die, wo der Zustand des Körpers durch seine Temperatur und sein Volumen, oder durch seine Temperatur und den Druck, unter welchem er steht, oder endlich durch sein Volumen und den Druck bestimmt ist. Wir wollen uns aber nicht gleich an besondere Größen binden, sondern wollen zunächst annehmen, der Zustand des Körpers sey durch zwei beliebige Größen, welche x und y heißen mögen, bestimmt, und diese Größen wollen wir in den Rechnungen als die unabhängigen Veränderlichen betrachten. Natürlich steht es uns dann bei specielleren Anwendungen immer frei, unter einer dieser Veränderlichen oder unter beiden eine oder zwei der vorher genannten Größen, Temperatur, Volumen und Druck, zu verstehen.

Wenn die Größen x und y den Zustand des Körpers bestimmen, so muß die Größe U , die Energie des Körpers, welche nur von dem augenblicklich stattfindenden Zustande des Körpers abhängt, sich durch eine Function dieser beiden Veränderlichen darstellen lassen.

Anders verhält es sich mit den Gröſsen w und Q . Die Differentialcoëfficienten dieser Gröſsen, welche wir folgendermaassen bezeichnen wollen:

$$(1) \quad \frac{dw}{dx} = m; \quad \frac{dw}{dy} = n$$

$$(2) \quad \frac{dQ}{dx} = M; \quad \frac{dQ}{dy} = N,$$

sind bestimmte Functionen von x und y . Wenn nämlich festgesetzt wird, daſs die Veränderliche x in $x + dx$ übergehen soll, während y unverändert bleibt, und daſs diese Zustandsänderung des Körpers in umkehrbarer Weise geschehen soll, so handelt es sich um einen vollkommen bestimmten Vorgang, und es muſs daher auch das dabei gethane äufserere Werk ein bestimmtes seyn, woraus weiter folgt, daſs der Bruch $\frac{dw}{dx}$ ebenfalls einen bestimmten Werth haben muſs. Ebenso verhält es sich, wenn festgesetzt wird daſs y in $y + dy$ übergehen soll, während x constant bleibt. Wenn hiernach die Differentialcoëfficienten des äufseren Werkes w bestimmte Functionen von x und y sind, so muſs zufolge der Gleichung (I.) auch von den Differentialcoëfficienten der vom Körper aufgenommenen Wärme Q dasselbe gelten, daſs auch sie bestimmte Functionen von x und y sind.

Bilden wir nun aber für dw und dQ ihre Ausdrücke in dx und dy , indem wir unter Vernachlässigung der Glieder, welche in Bezug auf dx und dy von höherer Ordnung sind, schreiben:

$$(3) \quad dw = m dx + n dy$$

$$(4) \quad dQ = M dx + N dy,$$

so erhalten wir dadurch zwei vollständige Differentialgleichungen, welche sich nicht integriren lassen, so lange die Veränderlichen x und y von einander unabhängig sind, indem die Gröſsen m , n und M , N der Bedingungsgleichung der Integrabilität, nämlich:

$$\frac{dm}{dy} = \frac{dn}{dx} \text{ resp. } \frac{dM}{dy} = \frac{dN}{dx}$$

nicht genügen. Die Größen w und Q gehören also zu denjenigen, welche in der mathematischen Einleitung zur ersten Abtheilung meiner Abhandlungensammlung besprochen wurden, deren Eigenthümlichkeit darin besteht, daß zwar ihre Differentialcoëfficienten bestimmte Functionen der beiden unabhängigen Veränderlichen sind, daß sie selbst aber nicht durch solche Functionen dargestellt werden können, sondern sich erst dann bestimmen lassen, wenn noch eine weitere Beziehung zwischen den Veränderlichen gegeben und dadurch der Weg der Veränderungen vorgeschrieben ist.

§. 4. Kehren wir nun zur Gleichung (I.) zurück und setzen darin für dw und dQ die Ausdrücke (3) und (4) und zerlegen ebenso dU in seine beiden auf dx und dy bezüglichen Theile, so lautet die Gleichung:

$$Mdx + Ndy = \left(\frac{dU}{dx} + m\right)dx + \left(\frac{dU}{dy} + n\right)dy.$$

Da diese Gleichung für alle beliebigen Werthe von dx und dy gültig seyn muß, so zerfällt sie in folgende zwei:

$$M = \frac{dU}{dx} + m$$

$$N = \frac{dU}{dy} + n.$$

Differentiiren wir die erste dieser Gleichungen nach y und die zweite nach x , so erhalten wir

$$\frac{dM}{dy} = \frac{d^2U}{dx dy} + \frac{dm}{dy}$$

$$\frac{dN}{dx} = \frac{d^2U}{dy dx} + \frac{dn}{dx}.$$

Nun ist auf U der für jede Function von zwei unabhängigen Veränderlichen geltende Satz anzuwenden, daß, wenn man sie nach den beiden Veränderlichen differentiirt, die Ordnung der Differentiationen gleichgültig ist, so daß man setzen kann:

$$\frac{d^2U}{dx dy} = \frac{d^2U}{dy dx}.$$

Wenn man unter Berücksichtigung dieser letzten Gleichung

die zweite der beiden vorigen Gleichungen von der ersten abzieht, so kommt:

$$(5) \quad \frac{dM}{dy} - \frac{dN}{dx} = \frac{dm}{dy} - \frac{dn}{dx}.$$

In ähnlicher Weise wollen wir nun auch die Gleichung (IIa.) behandeln. Setzen wir in derselben für dQ seinen Werth aus (4) ein, so lautet sie:

$$\int \left(\frac{M}{T} dx + \frac{N}{T} dy \right) = 0.$$

Wenn das hier an der linken Seite stehende Integral jedesmal, so oft x und y wieder zu ihren ursprünglichen Werthen gelangen, Null werden soll, so muß der unter dem Integralzeichen stehende Ausdruck das vollständige Differential einer Function von x und y seyn, und es muß daher die oben besprochene Bedingungsgleichung der Integrabilität erfüllt seyn, welche für diesen Fall folgendermaßen lautet:

$$\frac{d}{dy} \left(\frac{M}{T} \right) = \frac{d}{dx} \left(\frac{N}{T} \right).$$

Führt man hierin die Differentiationen aus, indem man bedenkt, daß die Temperatur T des Körpers ebenfalls als Function von x und y zu betrachten ist, so kommt:

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{dM}{dy} - \frac{M}{T^2} \cdot \frac{dT}{dy} = \frac{1}{T} \cdot \frac{dN}{dx} - \frac{N}{T^2} \cdot \frac{dT}{dx},$$

oder anders geordnet:

$$(6) \quad \frac{dM}{dy} - \frac{dN}{dx} = \frac{1}{T} \left(M \frac{dT}{dy} - N \frac{dT}{dx} \right).$$

Den beiden so erhaltenen Gleichungen (5) und (6) wollen wir noch eine etwas andere äußere Gestalt geben. Um nicht zu viele verschiedene Buchstaben in den Formeln zu haben, wollen wir für M und N , welche als abgekürzte Zeichen für die Differentialcoefficienten $\frac{dQ}{dx}$ und $\frac{dQ}{dy}$ eingeführt sind, künftig wieder die Differentialcoefficienten selbst schreiben. Betrachten wir ferner die in (5) an der rechten Seite stehende Differenz, welche, wenn wir

auch für m und n wieder die Differentialcoefficienten $\frac{dw}{dx}$ und $\frac{dw}{dy}$ schreiben, lautet:

$$\frac{d}{dy}\left(\frac{dw}{dx}\right) - \frac{d}{dx}\left(\frac{dw}{dy}\right),$$

so ist die durch diese Differenz dargestellte Gröfse eine Function von x und y , die gewöhnlich als bekannt anzunehmen ist, indem die von aussen auf den Körper wirkenden Kräfte der directen Beobachtung zugänglich sind, und daraus dann weiter das äufsere Werk bestimmt werden kann. Wir wollen diese Differenz, welche im Folgenden sehr häufig vorkommt, *die auf xy bezügliche Werkdifferenz* nennen, und dafür ein besonderes Zeichen einführen, indem wir setzen:

$$(7) \quad E_{xy} = \frac{d}{dy}\left(\frac{dw}{dx}\right) - \frac{d}{dx}\left(\frac{dw}{dy}\right).$$

Durch diese Aenderungen in der Bezeichnung gehen die Gleichungen (5) und (6) über in:

$$(8) \quad \frac{d}{dy}\left(\frac{dQ}{dx}\right) - \frac{d}{dx}\left(\frac{dQ}{dy}\right) = E_{xy},$$

$$(9) \quad \frac{d}{dy}\left(\frac{dQ}{dx}\right) - \frac{d}{dx}\left(\frac{dQ}{dy}\right) = \frac{1}{T}\left(\frac{dT}{dy} \cdot \frac{dQ}{dx} - \frac{dT}{dx} \cdot \frac{dQ}{dy}\right).$$

Diese beiden Gleichungen bilden die auf umkehrbare Veränderungen bezüglichen analytischen Ausdrücke der beiden Hauptsätze für den Fall, wo der Zustand des Körpers durch zwei beliebige Veränderliche bestimmt ist. Aus diesen Gleichungen ergibt sich sofort noch eine dritte, welche in sofern einfacher ist, als sie nur die Differentialcoefficienten erster Ordnung von Q enthält, nämlich:

$$(10) \quad \frac{dT}{dy} \cdot \frac{dQ}{dx} - \frac{dT}{dx} \cdot \frac{dQ}{dy} = TE_{xy}.$$

§. 5. Besonders einfach werden die drei vorstehenden Gleichungen, wenn man als eine der unabhängigen Veränderlichen die Temperatur des Körpers wählt. Wir wollen zu dem Zwecke $y = T$ setzen, so daß nun die noch unbestimmt gelassene Gröfse x und die Temperatur T die bei-

den unabhängigen Veränderlichen sind. Wenn $y = T$ ist, so folgt daraus ohne Weiteres, daß

$$\frac{dT}{dy} = 1$$

ist. Was ferner den Differentialcoefficienten $\frac{dT}{dx}$ anbetrifft, so ist bei der Bildung desselben vorausgesetzt, daß, während x in $x + dx$ übergeht, die andere Veränderliche, welche bisher y hieß, constant bleibe. Da nun gegenwärtig T selbst die andere Veränderliche ist, welche in dem Differentialcoefficienten als constant vorausgesetzt wird, so folgt daraus, daß man zu setzen hat:

$$\frac{dT}{dx} = 0.$$

Bilden wir nun zunächst die auf xT bezügliche Werkdifferenz, so lautet diese:

$$(11) \quad E_{xT} = \frac{d}{dT} \left(\frac{dw}{dx} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{dw}{dT} \right),$$

und unter Anwendung dieses Werthes gehen die Gleichungen (8), (9) und (10) über in:

$$(12) \quad \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dx} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = E_{xT}$$

$$(13) \quad \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dx} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = \frac{1}{T} \cdot \frac{dQ}{dx}$$

$$(14) \quad \frac{dQ}{dx} = TE_{xT}.$$

Wenn man das in (14) gegebene Product TE_{xT} statt des Differentialcoefficienten $\frac{dQ}{dx}$ in die Gleichung (12) einsetzt, und es, wie dort vorgeschrieben ist, nach T differenziert, so erhält man noch folgende einfache Gleichung:

$$(15) \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = T \frac{dE_{xT}}{dT}.$$

§. 6. Bisher haben wir über die äußeren Kräfte, denen der Körper unterworfen ist, und auf welche sich das bei Zustandsänderungen gethane äußere Werk bezieht, keine besonderen Annahmen gemacht. Wir wollen nun einen Fall näher betrachten, welcher vorzugsweise häufig

vorkommt, nämlich den, wo die einzige vorhandene äussere Kraft, oder wenigstens die einzige, welche bedeutend genug ist, um bei den Rechnungen Berücksichtigung zu verdienen, ein auf die Oberfläche des Körpers wirkender Druck ist, welcher an allen Punkten gleich stark und überall normal gegen die Oberfläche gerichtet ist.

In diesem Falle wird nur bei Volumenänderungen des Körpers äusseres Werk gethan. Nennen wir den auf die Flächeneinheit bezogenen Druck p , so ist die äussere Arbeit, welche gethan wird, wenn das Volumen v um dv zunimmt:

$$dW = p dv,$$

und demgemäss das äussere Werk, d. h. die nach Wärme-
maasse gemessene äussere Arbeit:

$$(16) \quad dw = Ap dv.$$

Denken wir uns nun, dass der Zustand des Körpers durch zwei beliebige Veränderliche x und y bestimmt sey, so sind der Druck p und das Volumen v als Functionen von x und y zu betrachten. Wir können also die vorige Gleichung in folgender Form schreiben:

$$dw = Ap \left(\frac{dv}{dx} dx + \frac{dv}{dy} dy \right),$$

woraus folgt:

$$(17) \quad \begin{cases} \frac{dw}{dx} = Ap \frac{dv}{dx} \\ \frac{dw}{dy} = Ap \frac{dv}{dy} \end{cases}$$

Setzen wir diese Werthe von $\frac{dw}{dx}$ und $\frac{dw}{dy}$ in den in (7) gegebenen Ausdruck von E_{xy} ein, und führen die darin angedeuteten zweiten Differentiationen aus, und berücksichtigen zugleich, dass $\frac{d^2v}{dx dy} = \frac{d^2v}{dy dx}$ seyn muss, so erhalten wir:

$$(18) \quad E_{xy} = A \left(\frac{dp}{dy} \cdot \frac{dv}{dx} - \frac{dp}{dx} \cdot \frac{dv}{dy} \right).$$

Diesen Werth von E_{xy} haben wir auf die Gleichungen (8) und (10) anzuwenden.

Sind x und T die beiden unabhängigen Veränderlichen, so erhält man, ganz der vorigen Gleichung entsprechend:

$$(19) \quad E_{,T} = A \left(\frac{dp}{dT} \cdot \frac{dv}{dx} - \frac{dp}{dx} \cdot \frac{dv}{dT} \right),$$

welchen Werth man auf die Gleichungen (12), (14) und (15) anzuwenden hat.

Die einfachsten Formen nimmt der in (18) gegebene Ausdruck an, wenn man entweder das Volumen oder den Druck als eine der unabhängigen Veränderlichen, oder wenn man Volumen und Druck als die beiden unabhängigen Veränderlichen wählt. Für diese Fälle geht nämlich die Gleichung (18), wie sich leicht ersehen läßt, über in:

$$(20) \quad E_{,v} = A \frac{dp}{dy}$$

$$(21) \quad E_{,p} = -A \frac{dv}{dy}$$

$$(22) \quad E_{,p} = A.$$

Will man endlich in den Fällen, wo entweder das Volumen oder der Druck als eine unabhängige Veränderliche gewählt ist, die Temperatur als andere unabhängige Veränderliche wählen so braucht man nur in den Gleichungen (20) und (21) T an die Stelle von y zu setzen.

§. 7. Unter den vorher genannten Umständen, wo die einzige vorhandene fremde Kraft ein gleichmäßiger und normaler Oberflächendruck ist, pflegt man als unabhängige Veränderliche, welche den Zustand des Körpers bestimmen sollen, am häufigsten die im vorigen §. zuletzt genannten Größen zu wählen, nämlich Volumen und Temperatur, oder Druck und Temperatur oder endlich Volumen und Druck. Die für diese drei Fälle geltenden Systeme von Differentialgleichungen will ich, obwohl sie sich leicht aus den obigen allgemeineren Systemen ableiten lassen, doch ihrer häufigen Anwendung wegen, hier in übersichtlicher Weise zusammenstellen. Das erste System ist dasjenige, welches ich in meinen Abhandlungen bei Betrachtung specieller Fälle immer angewandt habe.

Wenn v und T als unabhängige Veränderliche gewählt sind:

$$(23) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dv} \right) - \frac{d}{dv} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = A \frac{dp}{dT} \\ \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dv} \right) - \frac{d}{dv} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = \frac{1}{T} \cdot \frac{dQ}{dv} \\ \frac{dQ}{dv} = A T \frac{dp}{dT} \\ \frac{d}{dv} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = A T \frac{d^2 p}{dT^2}. \end{array} \right.$$

Wenn p und T als unabhängige Veränderliche gewählt sind:

$$(24) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dp} \right) - \frac{d}{dp} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = -A \frac{dv}{dT} \\ \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dp} \right) - \frac{d}{dp} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = \frac{1}{T} \cdot \frac{dQ}{dp} \\ \frac{dQ}{dp} = -A T \frac{dv}{dT} \\ \frac{d}{dp} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = -A T \frac{d^2 v}{dT^2}. \end{array} \right.$$

Wenn v und p als unabhängige Veränderliche gewählt sind:

$$(25) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dp} \left(\frac{dQ}{dv} \right) - \frac{d}{dv} \left(\frac{dQ}{dp} \right) = A \\ \frac{d}{dp} \left(\frac{dQ}{dv} \right) - \frac{d}{dv} \left(\frac{dQ}{dp} \right) = \frac{1}{T} \left(\frac{dT}{dp} \cdot \frac{dQ}{dv} - \frac{dT}{dv} \cdot \frac{dQ}{dp} \right) \\ \frac{dT}{dp} \cdot \frac{dQ}{dv} - \frac{dT}{dv} \cdot \frac{dQ}{dp} = A T. \end{array} \right.$$

§. 8. Unter den Fällen, auf welche die Gleichungen des vorigen §. Anwendung finden, ist der einfachste der, wo ein homogener Körper von durchweg gleicher Temperatur gegeben ist, welcher unter einem gleichmäßigen und normalen Oberflächendrucke steht, und bei Aenderung der Temperatur und des Druckes sein Volumen ändern kann, ohne dabei seinen Aggregatzustand zu ändern.

In diesem Falle hat der Differentialcoefficient $\frac{dQ}{dT}$ eine einfache physikalische Bedeutung. Denken wir uns näm-

lich, daß das Gewicht des Körpers eine Gewichtseinheit sey, so bedeutet dieser Differentialcoefficient, jenachdem bei seiner Bildung das Volumen oder der Druck als constant vorausgesetzt ist, die specifische Wärme bei constantem Volumen oder die specifische Wärme bei constantem Drucke.

Es ist in solchen Fällen, wo die Natur des Gegenstandes es mit sich bringt, daß man die unabhängigen Veränderlichen oft wechseln muß, und wo daher Differentialcoefficienten vorkommen, welche sich nur dadurch von einander unterscheiden, daß die GröÙe, welche bei der Differentiation als constant vorausgesetzt wurde, in ihnen verschieden ist, bequem, diesen Unterschied durch ein äußeres Merkmal anzudeuten, damit man ihn nicht immer in Worten anzugeben braucht. Ich will dieses dadurch thun, daß ich den Differentialcoefficienten in Klammern schließse, und die GröÙe, welche bei der Differentiation als constant vorausgesetzt ist, mit einem über ihr angebrachten wagrechten Striche versehen, als Index daneben schreibe. Hiernach sind also die beiden Differentialcoefficienten, welche die specifische Wärme bei constantem Volumen und bei constantem Drucke bedeuten, folgendermaßen zu schreiben:

$$\left(\frac{dQ}{dT}\right)_{\bar{v}} \text{ und } \left(\frac{dQ}{dT}\right)_{\bar{p}}.$$

Ferner ist von den drei GröÙen, welche in unserem gegenwärtigen Falle bei der Bestimmung des Zustandes des Körpers in Betracht kommen, nämlich Temperatur, Volumen und Druck, jede als Function der beiden anderen anzusehen, und man kann daher folgende sechs Differentialcoefficienten bilden:

$$\left(\frac{dp}{dT}\right)_{\bar{v}}, \left(\frac{dp}{dv}\right)_{\bar{T}}, \left(\frac{dv}{dT}\right)_{\bar{p}}, \left(\frac{dv}{dp}\right)_{\bar{T}}, \left(\frac{dT}{dv}\right)_{\bar{p}}, \left(\frac{dT}{dp}\right)_{\bar{v}}.$$

Bei diesen Differentialcoefficienten könnte man die Indices, welche angeben, welche GröÙe bei jeder Differentiation als constant vorausgesetzt ist, fortlassen, wenn man ein

für allemal festsetzt, daß von den drei Gröſſen T , v und p diejenige, welche in dem Differentialcoëfficienten nicht vorkommt, als constant zu betrachten ist. Indessen der Uebersichtlichkeit wegen und weil im Folgenden auch Differentialcoëfficienten zwischen denselben Gröſſen vorkommen, bei denen die als constant vorausgesetzte Gröſſe eine andere ist, als hier, wollen wir, wenigstens in den zunächst folgenden Gleichungen, die Indices mitschreiben.

Es erleichtert nun die mit diesen sechs Differentialcoëfficienten anzustellenden Rechnungen, wenn man die zwischen ihnen stattfindenden Beziehungen im Voraus feststellt.

Zuerst ist klar, daß unter den sechs Differentialcoëfficienten dreimal je zwei vorkommen, welche einander reciprok sind. Nehmen wir z. B. die Gröſſe v als constant an, so hängen die beiden anderen Gröſſen T und p so untereinander zusammen, daß jede von ihnen einfach als Function der anderen anzusehen ist. Ebenso stehen, wenn p als constant angenommen wird, T und v , und wenn T als constant angenommen wird, v und p in dieser einfachen Beziehung zu einander. Man hat also zu setzen:

$$(26) \quad \frac{1}{\left(\frac{dT}{dp}\right)_v} = \left(\frac{dp}{dT}\right)_v; \quad \frac{1}{\left(\frac{dT}{dv}\right)_p} = \left(\frac{dv}{dT}\right)_p; \quad \frac{1}{\left(\frac{dp}{dv}\right)_T} = \left(\frac{dv}{dp}\right)_T.$$

Um ferner die Beziehung zwischen den drei Paaren von Differentialcoëfficienten zu erhalten, wollen wir beispielsweise p als Function von T und v betrachten. Dann hat man die vollständige Differentialgleichung:

$$dp = \left(\frac{dp}{dT}\right)_v dT + \left(\frac{dp}{dv}\right)_T dv.$$

Wenn wir nun diese Gleichung auf den Fall anwenden wollen, wo p constant ist, so haben wir in ihr zu setzen:

$$dp = 0 \text{ und } dv = \left(\frac{dv}{dT}\right)_p dT,$$

wodurch sie übergeht in:

$$0 = \left(\frac{dp}{dT}\right)_v dT + \left(\frac{dp}{dv}\right)_T \cdot \left(\frac{dv}{dT}\right)_p dT.$$

Wenn man hieraus dT forthebt, und dann noch mit $\left(\frac{dp}{dT}\right)_v$ dividirt, so erhält man:

$$(27) \quad \left(\frac{dp}{dv}\right)_T \cdot \left(\frac{dv}{dT}\right)_p \cdot \left(\frac{dT}{dp}\right)_v = -1.$$

Mit Hülfe dieser Gleichung in Verbindung mit den Gleichungen (26) kann man jeden der sechs Differentialcoëfficienten durch ein Product oder durch einen Bruch aus zwei anderen Differentialcoëfficienten darstellen.

§. 9. Kehren wir nun zur Betrachtung der Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe des gegebenen Körpers zurück, und bezeichnen die specifische Wärme bei constantem Volumen mit c und die specifische Wärme bei constantem Drucke mit C , so haben wir, wenn wir das Gewicht des Körpers als eine Gewichtseinheit annehmen, zu setzen:

$$\left(\frac{dQ}{dT}\right)_v = c; \quad \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p = C.$$

Ferner ist gemäß den Gleichungen (23) und (24):

$$\left(\frac{dQ}{dv}\right)_T = AT \left(\frac{dp}{dT}\right)_v; \quad \left(\frac{dQ}{dp}\right)_T = -AT \left(\frac{dv}{dT}\right)_p.$$

Hiernach kann man folgende vollständige Differentialgleichungen bilden:

$$(28) \quad dQ = c dT + AT \left(\frac{dp}{dT}\right)_v dv$$

$$(29) \quad dQ = C dT - AT \left(\frac{dv}{dT}\right)_p dp.$$

Aus der Vergleichung dieser beiden Ausdrücke von dQ ergibt sich sofort die Beziehung zwischen den beiden specifischen Wärmen c und C . Gehen wir nämlich von der letzten Gleichung aus, welche sich auf T und p als unabhängige Veränderliche bezieht, so kann man daraus eine Gleichung ableiten, welche sich auf T und v als unabhängige Veränderliche bezieht. Man braucht dazu nur p als

Function von T und v zu betrachten, und demgemäß zu schreiben:

$$dp = \left(\frac{dp}{dT}\right)_v dT + \left(\frac{dp}{dv}\right)_T dv.$$

Durch Einsetzung dieses Werthes von dp in die Gleichung (29) geht sie über in:

$$dQ = \left[C - AT \left(\frac{dv}{dT}\right)_p \cdot \left(\frac{dp}{dT}\right)_v \right] dT - AT \left(\frac{dv}{dT}\right)_p \cdot \left(\frac{dp}{dv}\right)_T dv.$$

Wenn man hierin das im letzten Gliede stehende Product zweier Differentialcoefficienten mit Hülfe der Gleichung (27) durch einen einfachen Differentialcoefficienten ersetzt, so kommt:

$$dQ = \left[C - AT \left(\frac{dv}{dT}\right)_p \cdot \left(\frac{dp}{dT}\right)_v \right] dT + AT \left(\frac{dp}{dT}\right)_v dv.$$

Vergleicht man diesen Ausdruck von dQ mit dem in (28) gegebenen, und bedenkt, daß der Factor von dT in beiden Ausdrücken gleich seyn muß, so erhält man folgende die Beziehung zwischen den beiden specifischen Wärmen ausdrückende Gleichung:

$$(30) \quad c = C - AT \left(\frac{dv}{dT}\right)_p \cdot \left(\frac{dp}{dT}\right)_v.$$

Der hier vorkommende Differentialcoefficient $\left(\frac{dv}{dT}\right)_p$ stellt die Ausdehnung des Körpers durch Temperaturerhöhung dar, und ist der Regel nach als bekannt vorauszusetzen. Der andere Differentialcoefficient $\left(\frac{dp}{dT}\right)_v$ pflegt zwar bei festen und tropfbar flüssigen Körpern nicht unmittelbar durch Beobachtung bekannt zu seyn, aber man kann nach (27) setzen:

$$\left(\frac{dp}{dT}\right)_v = - \frac{\left(\frac{dv}{dT}\right)_p}{\left(\frac{dv}{dp}\right)_T},$$

und in diesem Bruche ist der im Zähler stehende Differentialcoefficient wieder der vorher besprochene, und der im

Nenner stehende Differentialcoefficient stellt, wenn er mit dem negativen Vorzeichen genommen wird, die Volumenverringerung durch Druckvermehrung oder die Zusammenrückbarkeit dar, welche man bei einer Anzahl von Flüssigkeiten direct gemessen hat, und bei festen Körpern aus dem Elasticitätscoefficienten näherungsweise berechnen kann. Durch Einführung dieses Bruches geht die Gleichung (30) über in:

$$(31) \quad c = C + A T \frac{\left(\frac{dv}{dT}\right)_p^2}{\left(\frac{dv}{dp}\right)_T}$$

Bei der Anwendung dieser Gleichung zu numerischen Rechnungen ist noch zu beachten, daß man in den Differentialcoefficienten als Volumeneinheit den Cubus derjenigen Längeneinheit, welche bei der Bestimmung der GröÙe A angewandt ist, und als Druckeinheit den Druck, welchen eine über eine Flächeneinheit verbreitete Gewichtseinheit ausübt, anwenden muß. Auf diese Einheiten hat man daher den Ausdehnungscoefficienten und den Zusammenrückungscoefficienten, wenn sie sich, wie es gewöhnlich der Fall, auf andere Einheiten beziehen, zu reduciren.

Da der Differentialcoefficient $\left(\frac{dv}{dp}\right)_T$ immer negativ ist, so folgt daraus, daß die spezifische Wärme bei constantem Volumen immer kleiner seyn muß als diejenige bei constantem Drucke. Der andere Differentialcoefficient $\left(\frac{dv}{dT}\right)_p$ ist im Allgemeinen eine positive GröÙe. Beim Wasser ist er bei der Temperatur des Maximums der Dichte gleich Null, und demnach sind bei dieser Temperatur die beiden spezifischen Wärmen gleich. Bei allen anderen Temperaturen, sowohl unter als über der Temperatur des Maximums der Dichte, ist die spezifische Wärme bei constantem Volumen kleiner als die bei constantem Drucke, denn, wenn auch der Differentialcoefficient $\left(\frac{dv}{dT}\right)_p$ unter dieser

Temperatur einen negativen Werth hat, so hat das doch auf den Werth der Formel keinen Einfluss; weil dieser Differentialcoefficient in ihr quadratisch vorkommt¹).

- 1) Um ein Beispiel von der Anwendung der Gleichung (31) zu erhalten, wollen wir das Wasser bei einigen bestimmten Temperaturen betrachten, und die Differenz zwischen den beiden specifischen Wärmern berechnen.

Nach den Beobachtungen von Kopp, deren Resultate z. B. in dem Lehrbuche der phys. und theor. Chemie S. 204 in einigen Zahlenreihen zusammengestellt sind, hat man für Wasser, wenn sein Volumen bei 4° als Einheit genommen wird, folgende Ausdehnungscoefficienten:

bei 0°	— 0,000061
» 25°	+ 0,00025
» 50°	+ 0,000454

Nach den Beobachtungen von Grassi (*Ann. de chim. et de phys.* 3^e sér. t. XXXI, p. 437 und Krönig's *Journ. für Physik des Auslands* Bd. II, S. 129) hat man für die Zusammendrückbarkeit des Wassers folgende Zahlen, welche die durch eine Druckzunahme um eine Atm. verursachte Volumenverminderung als Bruchtheil des beim ursprünglichen Drucke stattfindenden Volumens angeben:

bei 0°	0,000050
» 25°	0,000046
» 50°	0,000044.

Wir wollen nun beispielsweise für die Temperatur von 25° die Rechnung durchführen.

Als Längeneinheit wählen wir das Meter und als Gewichtseinheit das Kilogramm. Dann haben wir als Volumeneinheit ein Cubikmeter anzunehmen, und da ein Kilogramm Wasser bei 4° den Raum von 0,001 Cubikmeter einnimmt, so müssen wir, um $\left(\frac{dv}{dT}\right)_p$ zu erhalten,

den oben angeführten Ausdehnungscoefficienten mit 0,001 multipliciren, also

$$\left(\frac{dv}{dT}\right)_p = 0,00000025 = 25 \cdot 10^{-6}.$$

Bei der Zusammendrückbarkeit ist dem Vorigen nach das Volumen, welches das Wasser bei der betreffenden Temperatur und beim ursprünglichen Drucke, den wir als den gewöhnlichen Druck einer Atm. voraussetzen können, als Einheit genommen. Dieses Volumen ist bei 25° gleich 0,001003 Cubikm. Ferner ist eine Atm. Druck als Druckeinheit genommen, während wir den Druck eines Kilogramm auf ein Quadratmeter als Druckeinheit nehmen müssen, wonach eine Atm. Druck durch 10333 dargestellt wird. Demgemäß haben wir zu setzen:

Aus den Gleichungen (28) und (29) kann man auch leicht eine vollständige Differentialgleichung für Q ableiten, welche sich auf p und v als unabhängige Veränderliche bezieht. Man braucht dazu nur T als Function von p und v zu betrachten, und demgemäß zu setzen

$$dT = \left(\frac{dT}{dp}\right)_v dp + \left(\frac{dT}{dv}\right)_p dv.$$

Substituirt man in der Gleichung (29) diesen Werth für dT , so kommt:

$$\begin{aligned} dQ &= \left[C \left(\frac{dT}{dp}\right)_v - A T \left(\frac{dv}{dT}\right)_p \right] dp + C \left(\frac{dT}{dv}\right)_p dv \\ &= \left(\frac{dT}{dp}\right)_v \left[C - A T \left(\frac{dv}{dT}\right)_p \cdot \left(\frac{dp}{dT}\right)_v \right] dp + C \left(\frac{dT}{dv}\right)_p dv. \end{aligned}$$

Die im letzten Ausdrucke in der eckigen Klammer stehende Differenz ist nach (30) gleich c , und man kann daher die Gleichung so schreiben:

$$\left(\frac{dv}{dp}\right)_T = - \frac{0,000046 \cdot 0,001003}{10333} = -45 \cdot 10^{-12}.$$

Außerdem haben wir bei 25° zu setzen: $T = 273 + 25 = 298$, und für A wollen wir nach Joule $\frac{1}{424}$ annehmen. Diese Zahlenwerthe in die Gleichung (31) eingesetzt giebt:

$$C - c = \frac{298}{424} \cdot \frac{25^3 \cdot 10^{-16}}{45 \cdot 10^{-12}} = 0,0098.$$

In derselben Weise ergeben sich aus den obigen Werthen des Ausdehnungscoefficienten und der Zusammendrückbarkeit bei 0° und 50° folgende Zahlen:

$$\text{bei } 0^\circ \quad C - c = 0,0005$$

$$\text{„ } 50^\circ \quad C - c = 0,0358.$$

Wenden wir nun für C , die spezifische Wärme bei constantem Drucke, die von Regnault experimentell gefundenen Werthe an, so erhalten wir für die beiden spezifischen Wärmen folgende Paare von Zahlen:

$$\begin{aligned} \text{bei } 0^\circ & \begin{cases} C = 1 \\ c = 0,9995 \end{cases} \\ \text{„ } 25^\circ & \begin{cases} C = 1,0016 \\ c = 0,9918 \end{cases} \\ \text{„ } 50^\circ & \begin{cases} C = 1,0042 \\ c = 0,9684. \end{cases} \end{aligned}$$

$$(32) \quad dQ = c \left(\frac{dT}{dp} \right)_v dp + C \left(\frac{dT}{dv} \right)_p dv.$$

§. 10. Die drei vollständigen Differentialgleichungen (28), (29) und (32) erfüllen nicht die Bedingung der unmittelbaren Integrabilität, was sich in Bezug auf die beiden ersten sofort aus den schon weiter oben aufgestellten Gleichungen ergibt. Führen wir nämlich in den Gleichungen, welche in den Systemen (23) und (24) zu unterst stehen, die Buchstaben c und C ein, so lauten sie:

$$(33) \quad \begin{cases} \left(\frac{dc}{dv} \right)_T = A T \left(\frac{d^2 p}{dT^2} \right)_v \\ \left(\frac{dC}{dp} \right)_T = -A T \left(\frac{d^2 v}{dT^2} \right)_p, \end{cases}$$

während die Gleichungen, welche erfüllt seyn müßten, wenn (28) und (29) integrabel seyn sollten, lauten:

$$\begin{aligned} \left(\frac{dc}{dv} \right)_T &= A \left[T \left(\frac{d^2 p}{dT^2} \right)_v + \left(\frac{dp}{dT} \right)_v \right] \\ \left(\frac{dC}{dp} \right)_T &= -A \left[T \left(\frac{d^2 v}{dT^2} \right)_p + \left(\frac{dv}{dT} \right)_p \right]. \end{aligned}$$

Aehnlich, nur etwas weitläufiger, ist der Nachweis zu führen, daß die Gleichung (32) nicht integrabel ist, was sich übrigens dem Vorigen nach auch von selbst versteht, da sie aus den Gleichungen (28) und (29) abgeleitet ist.

Die drei Gleichungen gehören also zu denjenigen vollständigen Differentialgleichungen, welche in der Einleitung zur ersten Abtheilung meiner Abhandlungensammlung besprochen sind, und welche sich erst dann integrieren lassen, wenn zwischen den Veränderlichen noch eine andere Relation gegeben und dadurch der Weg der Veränderungen vorgeschrieben ist.

Unter den mannichfachen Anwendungen, welche sich von den Gleichungen (28), (29) und (32) machen lassen, will ich hier nur eine als Beispiel anführen. Es soll angenommen werden, der Körper ändere in umkehrbarer Weise durch Druckänderung sein Volumen, ohne daß ihm dabei

Wärme zugeführt oder entzogen werde. Es soll bestimmt werden, welche Volumenänderung unter diesen Umständen durch eine gewisse Druckänderung veranlaßt wird, und wie sich die Temperatur dabei ändert, oder allgemeiner, welche Gleichungen unter diesen Umständen zwischen Temperatur, Volumen und Druck stattfinden.

Man erhält diese Gleichungen sofort, wenn man in den drei vorher genannten Gleichungen $dQ = 0$ setzt. Die Gleichung (28) giebt dann:

$$cdT + AT\left(\frac{dp}{dT}\right)_v dv = 0.$$

Wenn man diese Gleichung durch dv dividirt, so ist der dadurch entstehende Bruch $\frac{dT}{dv}$ der auf diesen besonderen Fall bezügliche Differentialcoefficient von T nach v , welchen wir dadurch von anderen Differentialcoefficienten von T nach v unterscheiden wollen, daß wir \bar{Q} als Index daneben schreiben. Man erhält also:

$$(34) \quad \left(\frac{dT}{dv}\right)_{\bar{Q}} = -\frac{AT}{c}\left(\frac{dp}{dT}\right)_v.$$

Ebenso erhält man aus der Gleichung (29):

$$(35) \quad \left(\frac{dT}{dp}\right)_{\bar{Q}} = \frac{AT}{C}\left(\frac{dv}{dT}\right)_p.$$

Aus der Gleichung (32) erhält man zunächst:

$$\left(\frac{dv}{dp}\right)_{\bar{Q}} = -\frac{c}{C} \frac{\left(\frac{dp}{dT}\right)_v}{\left(\frac{dv}{dT}\right)_p},$$

wofür man nach (27) schreiben kann:

$$(36) \quad \left(\frac{dv}{dp}\right)_{\bar{Q}} = \frac{c}{C} \left(\frac{dv}{dp}\right)_{\bar{T}}.$$

Führt man in diese Gleichung noch für c seinen Werth aus (31) ein, so geht sie über in:

$$(37) \quad \left(\frac{dv}{dp}\right)_{\bar{Q}} = \left(\frac{dv}{dp}\right)_{\bar{T}} + \frac{AT}{C} \left(\frac{dv}{dT}\right)_p.$$

§. 11. Wenn man die Gleichungen der beiden vorigen §§. auf ein vollkommenes Gas anwendet, so nehmen sie noch bestimmtere und zugleich sehr einfache Formen an.

Für diesen Fall hat man zwischen den Gröſsen T , v und p als Ausdruck des Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetzes die Gleichung:

$$(38) \quad pv = RT,$$

worin R eine Constante ist. Hieraus folgt:

$$(39) \quad \begin{cases} \left(\frac{dp}{dT}\right)_v = \frac{R}{v}; \quad \left(\frac{dv}{dT}\right)_p = \frac{R}{p} \\ \left(\frac{d^2p}{dT^2}\right)_v = 0; \quad \left(\frac{d^2v}{dT^2}\right)_p = 0. \end{cases}$$

Verbindet man die beiden letzten Gleichungen mit den Gleichungen (33), so erhält man:

$$(40) \quad \left(\frac{dc}{dv}\right)_T = 0; \quad \left(\frac{dC}{dp}\right)_T = 0.$$

Hieraus folgt, daſs die beiden specifischen Wärmen c und C bei einem vollkommenen Gase nur Functionen der Temperatur seyn können. Aus anderen Gründen, welche auf besonderen Betrachtungen beruhen, auf die ich hier nicht eingehen will, ist zu schliessen, daſs die beiden specifischen Wärmen auch von der Temperatur unabhängig und somit constant sind, Resultate, welche in Bezug auf die specifische Wärme bei constantem Drucke durch die von Regnault mit permanenten Gasen angestellten experimentellen Untersuchungen bestätigt sind.

Wendet man die beiden ersten der Gleichungen (39) auf die Gleichung (30) an, welche die Beziehung zwischen den beiden specifischen Wärmen angiebt, so erhält man die Gleichung:

$$c = C - AT \frac{R}{p} \cdot \frac{R}{v},$$

welche in Folge von (38) übergeht in:

$$(41) \quad c = C - AR.$$

Die Gleichungen (28), (29) und (32) gestalten sich

durch Anwendung der beiden ersten der Gleichungen (39) folgendermaassen:

$$(42) \quad \begin{cases} dQ = cdT + AR \frac{T}{v} dv \\ dQ = CdT - AR \frac{T}{p} dp \\ dQ = \frac{c}{R} v dp + \frac{C}{R} p dv, \end{cases}$$

worin man noch das Product AR gemäß (41) durch die Differenz $C - c$ ersetzen kann. Von den Anwendungen dieser Gleichungen habe ich in meiner Abhandlung »über die bewegende Kraft der Wärme etc.« und in einem in meiner Abhandlungensammlung befindlichen Zusatze zu der Abhandlung »über die Anwendung des Satzes von der Aequivalenz der Verwandlungen auf die innere Arbeit« schon mehrere Beispiele gegeben, und ich will daher hier nicht weiter darauf eingehen.

§. 12. Ein anderer Fall, welcher wegen seiner häufigen Anwendungen von besonderem Interesse ist, ist der, wo mit den Zustandsänderungen des betrachteten Körpers *eine theilweise Aenderung des Aggregatzustandes* verbunden ist.

Wir wollen annehmen, es sey ein Körper gegeben, von dem sich ein Theil in einem und der übrige Theil in einem anderen Aggregatzustande befinde. Als Beispiel kann man sich denken, ein Theil des Körpers befinde sich im flüssigen und der übrige Theil im dampfförmigen Zustande, und zwar mit derjenigen Dichtigkeit, welche der Dampf in Berührung mit der Flüssigkeit annimmt; indessen gelten die aufzustellenden Gleichungen auch, wenn ein Theil des Körpers sich im festen und der andere im flüssigen, oder ein Theil im festen und der andere im dampfförmigen Zustande befindet. Wir wollen daher der grösseren Allgemeinheit wegen die beiden Aggregatzustände, um die es sich handeln soll, nicht näher bestimmen, sondern sie nur den *ersten* und den *zweiten* Aggregatzustand nennen.

Es sey also in einem Gefässe von gegebenem Volumen

eine gewisse Menge des Stoffes abgeschlossen, und ein Theil desselben habe den ersten und der andere Theil den zweiten Aggregatzustand. Wenn die specifischen Volumina, welche der Stoff bei einer gegebenen Temperatur in den beiden Aggregatzuständen hat, ungleich sind, so können in einem gegebenem Raume die beiden, in verschiedenen Aggregatzuständen befindlichen Theile nicht beliebige sondern nur ganz bestimmte Größen haben. Wenn nämlich der Theil, welcher sich in dem Aggregatzustande von größerem specifischem Volumen befindet, an GröÙe zunimmt, so wächst damit zugleich der Druck, den der eingeschlossene Stoff auf die Umhüllungswände ausübt, und den er daher auch umgekehrt von den Umhüllungswänden erleidet, und es wird zuletzt ein Punkt erreicht, wo der Druck so groß ist, daß er den weiteren Uebergang in diesen Aggregatzustand verhindert. Wenn dieser Punkt erreicht ist, so können, so lange die Temperatur der Masse und ihr Volumen, d. h. der Rauminhalt des Gefäßes, constant bleiben, die Gröößen der in den beiden Aggregatzuständen befindlichen Theile sich nicht weiter ändern. Nimmt dann aber, während die Temperatur constant bleibt, der Rauminhalt des Gefäßes zu, so kann der Theil, welcher sich in dem Aggregatzustande mit größerem specifischem Volumen befindet, noch weiter auf Kosten des anderen wachsen, bis abermals derselbe Druck, wie vorher, erreicht und dadurch der weitere Uebergang verhindert ist.

Hieraus ergibt sich die Eigenthümlichkeit, welche diesen Fall von anderen unterscheidet. Wählen wir nämlich die Temperatur und das Volumen der Masse als die beiden unabhängigen Veränderlichen, durch welche ihr Zustand bestimmt wird, so ist der Druck nicht eine Function dieser beiden Veränderlichen, sondern eine Function der Temperatur allein. Ebenso verhält es sich, wenn wir statt des Volumens eine andere GröÙe, welche sich gleichfalls unabhängig von der Temperatur ändern kann, und mit der Temperatur zusammen den ganzen Zustand des Körpers bestimmt, als zweite unabhängige Veränderliche wählen.

Auch von dieser kann der Druck nicht abhängen. Die beiden Größen Temperatur und Druck zusammen können in diesem Falle nicht als die beiden Veränderlichen, welche zur Bestimmung des Körperzustandes dienen sollen, gewählt werden.

Wir wollen nun neben der Temperatur T irgend eine noch unbestimmt gelassene Größe x als zweite unabhängige Veränderliche zur Bestimmung des Körperzustandes wählen. Betrachten wir dann den in (19) gegebenen Ausdruck der auf xT bezüglichen Werkdifferenz, nämlich:

$$E_{xT} = A \left(\frac{dp}{dT} \cdot \frac{dv}{dx} - \frac{dp}{dx} \cdot \frac{dv}{dT} \right),$$

so ist hierin dem Vorigen nach $\frac{dp}{dx} = 0$ zu setzen, und wir erhalten also:

$$(43) \quad E_{xT} = A \frac{dp}{dT} \cdot \frac{dv}{dx}.$$

Hierdurch gehen die drei Gleichungen (12), (13) und (14) über in:

$$(44) \quad \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dx} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = A \frac{dp}{dT} \cdot \frac{dv}{dx}$$

$$(45) \quad \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dx} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = \frac{1}{T} \cdot \frac{dQ}{dx}$$

$$(46) \quad \frac{dQ}{dx} = AT \frac{dp}{dT} \cdot \frac{dv}{dx}.$$

§. 13. Um diesen Gleichungen bestimmtere Formen zu geben, wollen wir die ganze Gewichtsmenge des betreffenden Stoffes M , und den Theil desselben, welcher in den zweiten Aggregatzustand übergegangen ist, m nennen, so daß $M - m$ die Größe des Theiles ist, welcher sich noch im ersten Aggregatzustande befindet. Die Größe m wollen wir als unabhängige Veränderliche wählen, welche mit T zusammen den Zustand des Körpers bestimmt.

Das spezifische (d. h. das auf die Gewichtseinheit bezogene) Volumen des Stoffes im ersten Aggregatzustande sey mit σ , und das spezifische Volumen im zweiten Aggregatzustande mit s bezeichnet. Beide Größen beziehen sich auf die Temperatur T und auf den dieser Temperatur

entsprechenden Druck, und sind ebenso, wie der Druck, als Functionen der Temperatur allein zu betrachten. Bezeichnen wir ferner das Volumen, welches die Masse im Ganzen einnimmt, mit v , so ist zu setzen:

$$v = (M - m)\sigma + m s \\ = m(s - \sigma) + M\sigma.$$

Hierin wollen wir noch für die Differenz $s - \sigma$ das Zeichen u einführen, dann kommt:

$$(47) \quad v = mu + M\sigma,$$

woraus folgt:

$$(48) \quad \frac{dv}{dm} = u.$$

Die Wärmemenge, welche der Masse zugeführt werden muß, wenn eine Gewichtseinheit derselben bei der Temperatur T und unter dem entsprechenden Drucke aus dem ersten Aggregatzustande in den zweiten übergehen soll, heiße r , dann ist:

$$(49) \quad \frac{dQ}{dm} = r.$$

Ferner wollen wir die spezifische Wärme des Stoffes in den beiden Aggregatzuständen in die Gleichungen einführen. Die spezifische Wärme, um welche es sich hier handelt, ist aber weder die spezifische Wärme bei constantem Volumen noch die bei constantem Drucke, sondern bezieht sich auf diejenige Wärmemenge, welche der Stoff zur Erwärmung bedarf, wenn gleichzeitig mit der Temperatur der Druck sich in der Weise ändert, wie es die Umstände des gegenwärtigen Falles mit sich bringen. Diese Art von spezifischer Wärme möge in den hier folgenden Formeln für den ersten Aggregatzustand c und für den zweiten h heißen¹⁾, dann hat man:

$$\frac{dQ}{dT} = (M - m)c + mh,$$

oder anders geordnet:

$$(50) \quad \frac{dQ}{dT} = m(h - c) + Mc.$$

1) Der Buchstabe c hat also in den hier folgenden Formeln eine andere Bedeutung, als in den weiter oben befindlichen, wo c die spezifische Wärme bei constantem Volumen bedeutete.

Aus (49) und (50) folgt sogleich weiter:

$$(51) \quad \frac{d}{dT} \left(\frac{dQ}{dm} \right) = \frac{dr}{dT}; \quad \frac{d}{dm} \left(\frac{dQ}{dT} \right) = h - c.$$

Durch Einsetzung der vorstehenden, in den Gleichungen von (48) bis (51) gegebenen Werthe in die Gleichungen (44), (45) und (46), nachdem in diesen letzteren m an die Stelle von x gesetzt ist, erhält man:

$$(52) \quad \frac{dr}{dT} + c - h = Au \frac{dp}{dT}$$

$$(53) \quad \frac{dr}{dT} + c - h = \frac{r}{T}$$

$$(54) \quad r = ATu \frac{dp}{dT}.$$

Dieses sind die Gleichungen, welche ich schon in meiner ersten Abhandlung über die mechanische Wärmetheorie als die auf die Dampfbildung bezüglichen Hauptgleichungen abgeleitet habe.

Bei den von mir ausgeführten numerischen Rechnungen, welche sich speciell auf die Verdampfung des Wassers beziehen, habe ich für den flüssigen Aggregatzustand die Art von specifischer Wärme, um welche es sich in diesen Gleichungen handelt, von der specifischen Wärme des Wassers bei constantem Drucke nicht weiter unterschieden. Dieses Verfahren ist in der That vollkommen gerechtfertigt, indem in diesem Falle der Unterschied zwischen den beiden Arten von specifischer Wärme kleiner ist, als die bei der experimentellen Bestimmung der specifischen Wärme vorkommenden Beobachtungsfehler ¹⁾.

- 1) Man kann die Beziehung zwischen der specifischen Wärme bei constantem Drucke und derjenigen specifischen Wärme, bei welcher vorausgesetzt wird, daß der Druck in der Weise mit der Temperatur zunimmt, daß er immer gleich dem Maximum der Spannkraft des von der Flüssigkeit sich entwickelnden Dampfes ist, leicht aus den obigen Gleichungen ableiten.

Nach Gleichung (29) wird die Wärmemenge, welche man der Gewichtseinheit der Flüssigkeit mittheilen muß, während die Temperatur um dT und der Druck um dp wächst, bestimmt durch:

$$dQ = C dT - AT \left(\frac{dv}{dT} \right)_p dp,$$

Bildet man die vollständige Differentialgleichung:

$$dQ = \frac{dQ}{dm} dm + \frac{dQ}{dT} dT$$

worin C die spezifische Wärme bei constantem Drucke bedeutet. Denken wir uns nun, daß der Druck in der Weise mit der Temperatur zunimmt, wie das Maximum der Spannkraft des Dampfes, und bezeichnen diese Druckzunahme bei der Temperaturzunahme um dT mit $\frac{dp}{dT} dT$, so wird die Wärmemenge, welche man der Gewichtseinheit Flüssigkeit unter diesen Umständen mittheilen muß, um ihre Temperatur um dT zu erhöhen, dargestellt durch:

$$dQ = C dT - A T \left(\frac{dv}{dT} \right)_p \cdot \frac{dp}{dT} dT.$$

Dividirt man diese Gleichung durch dT , so ist der dadurch entstehende Bruch $\frac{dQ}{dT}$ die hier in Betracht kommende spezifische Wärme, welche im Texte mit c bezeichnet ist. Wir erhalten also:

$$c = C - A T \left(\frac{dv}{dT} \right)_p \cdot \frac{dp}{dT}.$$

Venden wir dieses speciell auf das Wasser an, und wählen dabei z. B. die Temperatur 100° , so ist nach den Versuchen von Kopp der Ausdehnungscoefficient des Wassers bei 100° , wenn man das Volumen des Wassers bei 4° als Einheit nimmt, 0,00080. Diese GröÙe muß man, um $\left(\frac{dv}{dT} \right)_p$ für den Fall zu erhalten, wo ein Cubikmeter als Volumeneinheit und ein Kilogramm als Gewichtseinheit gilt, mit 0,001 multipliciren, also ist

$$\left(\frac{dv}{dT} \right)_p = 0,00000080.$$

Ferner ergibt sich aus der Spannungsreihe von Regnault, wenn man den Druck in Kilogrammen auf ein Quadratmeter darstellt, für die Temperatur 100° :

$$\frac{dp}{dT} = 370.$$

Die absolute Temperatur T bei 100° ist angenähert gleich 373 und für A wollen wir nach Joule annehmen $\frac{1}{424}$, dann erhalten wir:

$$A T \left(\frac{dv}{dT} \right)_p \cdot \frac{dp}{dT} = \frac{373}{424} \cdot 0,00000080 \cdot 370 = 0,00026.$$

Hieraus folgt:

$$c = C - 0,00026,$$

und wenn wir nun für die spezifische Wärme des Wassers bei constantem Drucke bei 100° den aus der Regnault'schen empirischen

und setzt darin die Werthe aus (49) und (50) ein, so kommt:

$$dQ = r dm + [m(h - c) + Mc] dT.$$

Formel hervorgehenden Werth annehmen, so erhalten wir für die beiden zu vergleichenden specifischen Wärmen, folgende zusammengehörige Werthe:

$$C = 1,018.$$

$$c = 1,01274.$$

Man sieht hieraus, daß diese beiden Größen einander so nahe gleich sind, daß es keinen Nutzen gehabt haben würde, die zwischen ihnen bestehende Differenz in meinen numerischen Rechnungen zu berücksichtigen.

Bei den Betrachtungen über den Einfluß des Druckes auf das Gefrieren der Flüssigkeiten verhält es sich insofern anders, als eine bedeutende Aenderung des Druckes den Gefrierpunkt nur sehr wenig ändert, und daher der Differentialcoefficient $\frac{dp}{dT}$ für diesen Fall einen sehr großen Werth hat. Das Verfahren, welches ich in meiner auf diesen Gegenstand bezüglichen Notiz (diese Ann. Bd. LXXXI) angewandt habe, daß ich auch in diesem Falle für c und h bei der numerischen Rechnung dieselben Werthe benutzt habe, welche man als die specifische Wärme des Wassers und des Eises bei constantem Drucke kennt, ist daher etwas ungenau, und ich muß die Bemerkung, welche ich in dem in meiner Abhandlungensammlungen befindlichen Zusatze zu dieser Notiz gemacht habe, daß die Verschiedenheit nur sehr unbedeutend seyn könne, modificiren. Nimmt man gemäß der in jener Notiz ausgeführten Rechnung an, daß für eine Druckzunahme um eine Atm. der Gefrierpunkt um $0^{\circ},00733$ sinkt, so hat man zu setzen:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{1033}{0,00733}.$$

Bringt man diesen Werth in derselben Weise, wie es vorher geschehen ist, mit den Ausdehnungcoefficienten des Wassers und Eises bei 0° in Verbindung, so erhält man statt der Zahlen 1 und 0,48, welche für Wasser und Eis die specifische Wärme bei constantem Drucke darstellen, folgende Werthe:

$$c = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$h = 0,48 + 0,14 = 0,62.$$

Durch Anwendung dieser Werthe auf die Gleichung:

$$\frac{dr}{dT} = c - h + \frac{r}{T}$$

ergiebt sich statt des in jener Notiz gegebenen Resultates:

$$\frac{dr}{dT} = 0,52 + 0,29 = 0,81$$

Hierin für $h - c$ den aus (53) hervorgehenden Werth gesetzt, giebt:

$$dQ = r dm + \left[m \left(\frac{dr}{dT} - \frac{r}{T} \right) + Mc \right] dT,$$

welche Gleichung man auch so schreiben kann:

$$(55) \quad dQ = d(mr) - \frac{mr}{T} dT + McdT$$

oder noch kürzer:

$$(56) \quad dQ = Td\left(\frac{mr}{T}\right) + McdT.$$

Auf die Anwendungen dieser Gleichungen will ich hier nicht eingehen, weil in meinen ersten Abhandlungen und in der Abhandlung über die Dampfmaschinen weitläufig davon die Rede gewesen ist.

§. 14. Alle vorstehenden Betrachtungen bezogen sich auf Veränderungen, welche in umkehrbarer Weise vor sich gehen. Wir wollen nun auch noch die *nicht umkehrbaren Veränderungen* in den Kreis der Betrachtungen ziehen, um wenigstens der Hauptsache nach kurz anzugeben, wie sie zu behandeln sind.

Bei mathematischen Untersuchungen über nicht umkehrbare Veränderungen handelt es sich vorzugsweise um zwei Umstände, welche zu eigenthümlichen Größenbestimmungen Veranlassung geben. Erstens sind die Wärmemengen, welche man einem veränderlichen Körper mittheilen resp. entziehen muß, bei nicht umkehrbaren Veränderungen andere, als wenn dieselben Veränderungen in umkehrbarer

folgendes etwas abweichendes Resultat:

$$\frac{dr}{dT} = 0,33 + 0,29 = 0,62.$$

Uebrigens ist in Betreff dieser hier gelegentlich angebrachten kleinen Correction zu bemerken, daß sie sich nur auf eine einzeln stehende numerische Berechnung bezieht, und zwar auf die Berechnung einer Gleichung, von der ich selbst in jener Notiz gesagt habe, daß sie practisch ohne Bedeutung sey und nur theoretisch der Erwähnung verdienne. Die Gleichung selbst, und die auf sie bezügliche theoretische Betrachtung wird durch diese Correction nicht berührt.

Weise geschehen. Zweitens ist jede nicht umkehrbare Veränderung mit einer uncompensirten Verwandlung verbunden, deren Kenntniß bei gewissen Betrachtungen von Wichtigkeit ist.

Um die auf diese beiden Umstände bezüglichen analytischen Ausdrücke anführen zu können, muß ich zunächst an einige in den bisher von mir aufgestellten Gleichungen enthaltene Größen erinnern.

Eine derselben, welche sich auf den ersten Hauptsatz bezieht, ist die schon im Anfange dieser Abhandlung besprochene, in Gleichung (I.) enthaltene GröÙe U , welche den Wärme- und Werkinhalt oder die Energie des Körpers darstellt. Zur Bestimmung dieser GröÙe ist die Gleichung (I.) anzuwenden, welche wir so schreiben können:

$$(57) \quad dU = dQ - d\omega,$$

oder, wenn wir sie uns integrirt denken:

$$(58) \quad U = U_0 + Q - \omega.$$

Hierin stellt U_0 den Werth der Energie für einen willkürlich gewählten Anfangszustand des Körpers dar, und Q und ω bedeuten die Wärmemenge, welche man dem Körper mittheilen muß, und das äußere Werk, welches gethan wird, während der Körper auf irgend eine umkehrbare Weise aus jenem Anfangszustande in den gegenwärtigen Zustand übergeht. Der Körper kann, wie oben gesagt wurde, selbst wenn festgesetzt ist, daß die Veränderungen umkehrbar seyn sollen, doch noch auf unendlich vielen verschiedenen Wegen aus dem einen Zustande in den anderen übergeführt werden, und aus allen diesen Wegen kann man denjenigen auswählen, welcher für die Rechnung am bequemsten ist.

Die andere hier in Betracht kommende GröÙe, welche sich auf den zweiten Hauptsatz bezieht, ist in der Gleichung (IIa.) enthalten. Wenn nämlich, wie die Gleichung (IIa.) aussagt, das Integral $\int \frac{dQ}{T}$ jedesmal gleich Null wird, so oft der Körper, dessen Veränderungen von irgend einem Anfangszustande beginnen, nach Durchlaufung beliebiger

anderer Zustände wieder in den Anfangszustand zurückgelangt, so muß der unter dem Integralzeichen stehende Ausdruck $\frac{dQ}{T}$ das vollständige Differential einer GröÙe seyn, welche nur vom augenblicklich stattfindenden Zustande des Körpers, und nicht von dem Wege, auf welchem er in denselben gelangt ist, abhängt. Bezeichnen wir diese GröÙe mit S , so können wir setzen:

$$(59) \quad dS = \frac{dQ}{T},$$

oder, wenn wir uns diese Gleichung für irgend einen umkehrbaren Vorgang, durch welchen der Körper aus dem gewählten Anfangszustande in seinen gegenwärtigen Zustand gelangen kann, integrirt denken, und dabei den Werth, welchen die GröÙe S im Anfangszustande hat, mit S_0 bezeichnen:

$$(60) \quad S = S_0 + \int \frac{dQ}{T}.$$

Diese Gleichung ist in ganz analoger Weise zur Bestimmung von S anzuwenden, wie die Gleichung (58) zur Bestimmung von U .

Die physikalische Bedeutung der GröÙe S ist in meiner Abhandlung »über die Anwendung des Satzes von der Aequivalenz der Verwandlungen auf die innere Arbeit« des Näheren besprochen. Die in dieser Abhandlung unter (II.) gegebene Fundamentalgleichung, welche für alle in umkehrbarer Weise stattfindende Zustandsänderungen eines Körpers gilt, lautet, wenn man in der Bezeichnung die kleine Änderung macht, daß man nicht die von dem veränderlichen Körper nach außen abgegebene Wärme, sondern vielmehr die von ihm aufgenommene Wärme als positiv rechnet, folgendermaßen:

$$(61) \quad \int \frac{dQ}{T} = \int \frac{dH}{T} + \int dZ.$$

Die beiden hierin an der rechten Seite stehenden Integrale sind die auf den vorliegenden Fall bezüglichen Werthe zweier in jener Abhandlung neu eingeführter GröÙen.

Im ersten Integrale bedeutet H die im Körper wirklich vorhandene Wärme, welche, wie ich nachgewiesen habe, nur von der Temperatur des Körpers und nicht von der Anordnung seiner Bestandtheile abhängt. Hieraus folgt, daß der Ausdruck $\frac{dH}{T}$ ein vollständiges Differential ist, und daß man somit, wenn man für den Uebergang des Körpers aus einem im Voraus gewählten Anfangszustande in seinen gegenwärtigen Zustand das Integral $\int \frac{dH}{T}$ bildet, dadurch eine Gröfse erhält, welche durch den gegenwärtigen Zustand des Körpers vollkommen bestimmt ist, ohne daß man die Art, wie der Uebergang in diesen Zustand stattgefunden hat, zu kennen braucht. Diese Gröfse habe ich aus Gründen, welche in der genannten Abhandlung auseinandergesetzt sind, den *Verwandlungswerth* der im Körper vorhandenen Wärme genannt.

Was die Wahl des Anfangszustandes für die Integration anbetrifft, so würde es nahe liegen, von dem Zustande auszugehen, bei dem $H=0$ ist, also von dem absoluten Nullpunkte der Temperatur; aber für diesen Fall wird das Integral $\int \frac{dH}{T}$ unendlich groß. Man muß daher, wenn man einen endlichen Werth erhalten will, von einem Anfangszustande beginnen, bei welchem die Temperatur schon einen angebbaren Werth hat. Das Integral stellt dann nicht den Verwandlungswerth der ganzen im Körper enthaltenen Wärmemenge dar, sondern nur den Verwandlungswerth derjenigen Wärmemenge, welche der Körper in seinem gegenwärtigen Zustande mehr enthält, als in jenem Anfangszustande, was ich dadurch ausgedrückt habe, daß ich das so gebildete Integral den *Verwandlungswerth der von dem gegebenen Anfangszustande an gerechneten Körperwärme* genannt habe. Wir wollen diese Gröfse der Kürze wegen mit Y bezeichnen.

Die in dem zweiten Integrale vorkommende Gröfse Z habe ich die *Disgregation* des Körpers genannt. Sie hängt von der Anordnung der Bestandtheile des Körpers ab, und

das Maafs einer Disgregationsvermehrung ist der Aequivalenzwerth derjenigen Verwandlung aus Werk in Wärme, welche stattfinden mufs, um die Disgregationsvermehrung wieder rückgängig zu machen, welche also als Ersatz der Disgregationsvermehrung dienen kann. Hiernach kann man sagen, die Disgregation sey der Verwandlungswerth der gerade stattfindenden Anordnung der Bestandtheile des Körpers. Da man bei der Bestimmung der Disgregation auch von irgend einem Zustande des Körpers als Anfangszustand ausgehen mufs, so wollen wir annehmen, der dazu gewählte Anfangszustand sey derselbe, wie derjenige, von welchem man bei der Bestimmung des Verwandlungswerthes der im Körper vorhandenen Wärme ausgegangen ist.

Bilden wir nun aus den beiden eben besprochenen Gröfsen Y und Z die Summe, so ist diese die vorher genannte Gröfse S . Gehen wir nämlich zur Gleichung (61) zurück, und nehmen der Allgemeinheit wegen an, der Anfangszustand der Veränderung, auf welche sich die in dieser Gleichung befindlichen Integrale beziehen, brauche nicht gerade derselbe zu seyn, wie derjenige Anfangszustand, von welchem man bei der Bestimmung von Y und Z ausgegangen ist, sondern es handle sich in ihr um eine Veränderung, deren Anfang ein ganz beliebiger sey, wie er sich bei irgend einer speciellen Untersuchung gerade dargeboten hat, so können wir für die an der rechten Seite stehenden Integrale schreiben:

$$\int \frac{dH}{T} = Y - Y_0 \text{ und } \int dZ = Z - Z_0,$$

worin Y_0 und Z_0 die Werthe von Y und Z sind, welche dem Anfangszustande entsprechen. Dadurch geht die Gleichung (61) über in:

$$(62) \quad \int \frac{dQ}{T} = Y + Z - (Y_0 + Z_0).$$

Setzt man hierin:

$$(63) \quad Y + Z = S$$

und entsprechend:

$$Y_0 + Z_0 = S_0,$$

so erhält man die Gleichung:

$$(64) \int \frac{dQ}{T} = S - S_0,$$

welche, nur etwas anders geordnet, dieselbe ist, wie die unter (60) angeführte zur Bestimmung von S dienende Gleichung.

Sucht man für S einen bezeichnenden Namen, so könnte man, ähnlich wie von der GröÙe U gesagt ist, sie sey der *Wärme- und Werkinhalt* des Körpers, von der GröÙe S sagen, sie sey der *Verwandlungsinhalt* des Körpers. Da ich es aber für besser halte, die Namen derartiger für die Wissenschaft wichtiger GröÙsen aus den alten Sprachen zu entnehmen, damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können, so schlage ich vor, die GröÙe S nach dem griechischen Worte $\eta \tau\rho\omicron\pi\eta$, die Verwandlung, die *Entropie* des Körpers zu nennen. Das Wort *Entropie* habe ich absichtlich dem Worte *Energie* möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden GröÙsen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt, daß eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäÙig zu seyn scheint.

Fassen wir, bevor wir weiter gehen, der Uebersichtlichkeit wegen noch einmal die verschiedenen im Verlaufe der Abhandlung besprochenen GröÙsen zusammen, welche durch die mechanische Wärmetheorie entweder neu eingeführt sind, oder doch eine veränderte Bedeutung erhalten haben, und welche sich alle darin gleich verhalten, daß sie durch den augenblicklich stattfindenden Zustand des Körpers bestimmt sind, ohne daß man die Art, wie der Körper in denselben gelangt ist, zu kennen braucht, so sind es folgende sechs: 1) der *Wärmeinhalt*, 2) der *Werkinhalt*, 3) die Summe der beiden vorigen, also der *Wärme- und Werkinhalt* oder die *Energie*; 4) der *Verwandlungswerth des Wärmeinhaltes*, 5) die *Disgregation*; welche als der Verwandlungswerth der stattfindenden Anordnung der Bestandtheile zu

betrachten ist, 6) die Summe der beiden vorigen, also der *Verwandlungsinhalt* oder die *Entropie*.

§. 15. Um die Energie und Entropie für besondere Fälle zu bestimmen, hat man neben den Gleichungen (57) und (59), resp. (58) und (60), die verschiedenen im Obigen für dQ gegebenen Ausdrücke zu benutzen. Ich will hier nur einige einfache Fälle als Beispiele behandeln.

Wenn der betrachtete Körper ein homogener Körper von durchweg gleicher Temperatur ist, auf welchen als einzige fremde Kraft ein gleichmäßiger und normaler Oberflächendruck wirkt, und welcher bei Aenderung der Temperatur und des Druckes sein Volumen ändern kann, ohne dabei eine theilweise Aenderung des Aggregatzustandes zu erleiden, und wenn dazu noch das Gewicht des Körpers als eine Gewichtseinheit vorausgesetzt wird, so kann man für dQ die in §. 9 gegebenen Gleichungen (28), (29) und (32) anwenden. In diesen Gleichungen kommt die dort mit c bezeichnete specifische Wärme bei constantem Volumen und die mit C bezeichnete specifische Wärme bei constantem Drucke vor, und da gewöhnlich die letztere specifische Wärme diejenige ist, welche man unmittelbar durch Beobachtungen bestimmt hat, so wollen wir die Gleichung, in der sie vorkommt, anwenden, nämlich (29), welche lautet:

$$dQ = C dT - A T \frac{dv}{dT} dp^1).$$

Was ferner das äußere Werk anbetrifft, so hat man für eine unendlich kleine Zustandsänderung, bei welcher das Volumen sich um dv ändert, zu setzen:

$$dw = A p dv,$$

und wenn man T und p als unabhängige Veränderliche ge-

1.) Ich schreibe hier statt des in (29) angewandten Zeichens $\left(\frac{dv}{dT}\right)_p$ ein-

fach $\frac{dv}{dT}$, weil in einem Falle, wo nur T und p als unabhängige Veränderliche vorkommen, es sich von selbst versteht, daß bei der Differentiation nach T die andere Veränderliche p als constant vorausgesetzt ist.

wählt hat, so kann man dieser Gleichung folgende Form geben:

$$dw = Ap \left(\frac{dv}{dT} dT + \frac{dv}{dp} dp \right).$$

Wendet man diese Ausdrücke von dQ und dw auf die Gleichungen (57) und (59) an, so erhält man:

$$(65) \quad \begin{cases} dU = (C - Ap \frac{dv}{dT}) dT - A \left(T \frac{dv}{dT} + p \frac{dv}{dp} \right) dp \\ dS = \frac{C}{T} dT - A \frac{dv}{dT} dp. \end{cases}$$

Unter Berücksichtigung der in (33) zu unterst stehenden Gleichung, nämlich

$$\frac{dC}{dp} = -AT \frac{d^2v}{dT^2},$$

überzeugt man sich leicht, daß diese beiden vollständigen Differentialgleichungen integrabel sind, ohne daß man dazu noch eine weitere Beziehung zwischen den Veränderlichen anzunehmen braucht. Durch Ausführung der Integration gewinnt man Ausdrücke von U und S , deren jeder nur noch eine unbestimmt bleibende Constante enthält, nämlich den Werth, welchen die betreffende GröÙe U oder S in dem als Ausgangspunkt der Integration gewählten Anfangszustande des Körpers hat.

Ist der Körper ein vollkommenes Gas, so gestalten sich die Gleichungen einfacher. Man kann sie entweder dadurch erhalten, daß man die Gleichungen (65) mit der das Mariotte'sche und Gay-Lussac'sche Gesetz ausdrückenden Gleichung $p v = RT$ in Verbindung bringt, oder dadurch, daß man auf die Gleichungen (57) und (59) zurückgeht, und darin an die Stelle von dQ einen der schon oben für vollkommene Gase abgeleiteten und in den Gleichungen (42) enthaltenen Ausdrücke; und zugleich für dw einen der drei Ausdrücke $AR \frac{T}{v} dv$; $AR(dT - \frac{T}{p} dp)$; $Ap dv$ einsetzt. Wählt man von den Gleichungen (42) die zu oberst stehende, welche für den vorliegenden Fall die bequemste ist, so kommt:

$$(66) \quad \begin{cases} dU = c dT \\ dS = c \frac{dT}{T} + AR \frac{dv}{v}. \end{cases}$$

Die Integration dieser Gleichungen läßt sich, da c und AR constant sind, sofort ausführen, und giebt, wenn man die Werthe von U und S im Anfangszustande, in welchem $T = T_0$ und $v = v_0$ ist, mit U_0 und S_0 bezeichnet:

$$(67) \quad \begin{cases} U = U_0 + c(T - T_0) \\ S = S_0 + c \log \frac{T}{T_0} + AR \log \frac{v}{v_0}. \end{cases}$$

Als letzten speciellen Fall wollen wir den behandeln, auf welchen sich die §§. 12 und 13 beziehen, wo der betrachtete Körper eine Masse M ist, von welcher sich der Theil $M - m$ in einem und der Theil m in einem anderen Aggregatzustande befindet, und wo der Druck, unter dem die ganze Masse steht, nur von der Temperatur abhängt.

Wir wollen annehmen, zu Anfange befinde sich die ganze Masse M im ersten Aggregatzustande, und habe die Temperatur T_0 , und zugleich stehe sie unter dem Drucke, welcher dieser Temperatur entspricht. Die Werthe der Energie und Entropie in diesem Anfangszustande seyen mit U_0 und S_0 bezeichnet. Dann wollen wir uns denken, daß der Körper auf folgendem Wege aus diesem Anfangszustande in seinen Endzustand gebracht werde. Der Körper soll zunächst, während die ganze Masse immer im ersten Aggregatzustande bleibt, von der Temperatur T_0 auf die Temperatur T gebracht werden, und dabei soll der Druck sich in der Weise ändern, daß er in jedem Augenblicke die Größe hat, welche der gerade stattfindenden Temperatur entspricht. Darauf soll bei der Temperatur T ein Theil der Masse, nämlich der Theil m , aus dem ersten in den zweiten Aggregatzustand übergehen. Diese beiden Veränderungen wollen wir einzeln betrachten, indem wir dabei die in §. 13 eingeführte Bezeichnung anwenden.

Während der zuerst erwähnten Temperaturänderung hat man die Gleichung:

$$dQ = McdT$$

anzuwenden. Die hier vorkommende Gröfse c ist die spezifische Wärme des Körpers im ersten Aggregatzustande für den Fall, wo der Druck während der Temperaturänderung sich in der oben angegebenen Weise ändert. Von dieser Gröfse ist in der Anmerkung zu §. 13 die Rede gewesen, und man kann nach dem, was dort nachgewiesen ist, für den Fall, wo der erste Aggregatzustand der flüssige oder feste und der zweite der luftförmige ist, für c in numerischen Rechnungen ohne Bedenken die spezifische Wärme des flüssigen oder festen Körpers bei constantem Drucke setzen. Nur wenn es sich um sehr hohe Temperaturen handelt, bei denen die Dampfspannung mit der Temperatur sehr schnell wächst, kann der Unterschied zwischen der spec. Wärme c und der spec. Wärme bei constantem Drucke so erheblich werden, daß man ihn berücksichtigen muß. Aus der vorstehenden Gleichung folgt, wenn man zugleich bedenkt, daß mit der Temperaturzunahme dT eine Volumenzunahme $M \frac{d\sigma}{dT} dT$ und somit das äußere Werk $MAp \frac{d\sigma}{dT} dT$ verbunden ist:

$$dU = M \left(c - Ap \frac{d\sigma}{dT} \right) dT$$

$$dS = M \frac{c}{T} dT.$$

Für die bei Temperatur T stattfindende Aenderung des Aggregatzustandes hat man:

$$dQ = r dm.$$

Hieraus folgt, da die Zunahme des im zweiten Aggregatzustande befindlichen Theiles um dm eine Volumenzunahme um $u dm$ und somit ein durch $Apu dm$ dargestelltes äußeres Werk bedingt:

$$dU = (r - Apu) dm.$$

Wendet man hierauf, um die Gröfse u durch andere experimentell besser bekannte Gröfsen zu ersetzen, die Gleichung (54) an, nach welcher man hat:

$$Au = \frac{r}{T \frac{dp}{dT}},$$

so kommt:

$$dU = r \left(1 - \frac{p}{T \frac{dp}{dT}} \right) dm.$$

Zugleich ergibt sich für dS aus jenem Ausdrucke von dQ unmittelbar:

$$dS = \frac{r}{T} dm.$$

Die beiden auf den ersten Proceß bezüglichen Differentialgleichungen müssen nach T von T_0 bis T , und die auf den zweiten Proceß bezüglichen nach m von 0 bis m integriert werden, und man erhält also:

$$(68) \quad \begin{cases} U = U_0 + M \int_{T_0}^T \left(c - A p \frac{dp}{dT} \right) dT + m r \left(1 - \frac{p}{T \frac{dp}{dT}} \right) \\ S = S_0 + M \int_{T_0}^T \frac{c}{T} dT + \frac{m r}{T} \cdot 1. \end{cases}$$

§. 16. Nehmen wir nun an, daß auf eine der vorstehend angedeuteten Weisen die Größen U und S für einen Körper in seinen verschiedenen Zuständen bestimmt seyen, so kann man die Gleichungen, welche für *nicht umkehrbare* Veränderungen gelten, ohne Weiteres hinschreiben:

Die erste Hauptgleichung (I.) und die aus ihr durch Integration hervorgegangene Gleichung (58), welche wir jetzt so ordnen wollen:

$$(69) \quad Q = U - U_0 + w,$$

gilt ebenso gut für nicht umkehrbare, wie für umkehrbare Veränderungen. Der Unterschied besteht nur darin, daß von

- 1) In einer mathematischen Entwicklung von Bauschinger, welche im zweiten diesjährigen Hefte von Schlömilch's Zeitschrift für Math. und Phys. erschien, als diese Abhandlung schon vollendet war, kommen ebenfalls Bestimmungen der hier besprochenen Größen vor. Ich werde mir erlauben über diese Entwicklung in einer besonderen, später zu veröfentlichenden Note einige Bemerkungen zu machen.

den an der rechten Seite stehenden Größen das äußere Werk w in dem Falle, wo eine Veränderung in nicht umkehrbarer Weise vor sich geht, einen anderen Werth hat, als in dem Falle, wo dieselbe Veränderung in umkehrbarer Weise geschieht. In Bezug auf die Differenz $U - U_0$ findet eine solche Ungleichheit nicht statt. Sie ist nur vom Anfangs- und Endzustande und nicht von der Art des Ueberganges abhängig. Man braucht also die Art des Ueberganges nur soweit in Betracht zu ziehen, wie nöthig ist, um das dabei gethane äußere Werk zu bestimmen, und indem man dann dieses äußere Werk zu der Differenz $U - U_0$ addirt, erhält man die gesuchte Wärmemenge Q , welche der Körper während des Ueberganges aufnehmen muß.

Was ferner die bei irgend einer nicht umkehrbaren Veränderung eingetretene *uncompensirte Verwandlung* anbetrifft, so erhält man dieselbe folgendermaassen.

Der Ausdruck derjenigen uncompensirten Verwandlung, welche in einem *Kreisproceß* eintreten kann, ist in meiner Abhandlung »über eine veränderte Form des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie« in Gleichung (11) gegeben ¹⁾. Wenn wir in dieser Gleichung dem Differentiale dQ das entgegengesetzte Vorzeichen geben, weil dort eine von dem Körper an ein Wärmereservoir abgegebene Wärmemenge positiv gerechnet ist, während wir hier eine von dem Körper aufgenommene Wärmemenge positiv rechnen, so lautet sie:

$$(70) \quad N = - \int \frac{dQ}{T}.$$

Wenn nun der Körper eine Veränderung oder eine Reihe von Veränderungen erlitten hat, welche nicht einen Kreisproceß bilden, sondern durch welche er in einen Endzustand gelangt ist, der vom Anfangszustande verschieden ist, so kann man aus dieser Reihe von Veränderungen nachträglich einen Kreisproceß machen, wenn man noch solche Veränderungen

1) Diese Ann. Bd. XCIII, S. 499 und Abhandlungensammlung Theil I, S. 145.

hinzufügt, durch welche der Körper wieder aus dem erreichten Endzustande in seinen Anfangszustand zurückgeführt wird. Von diesen neu hinzugefügten Veränderungen, welche den Körper in den Anfangszustand zurückführen, wollen wir annehmen, daß sie in umkehrbarer Weise stattfinden.

Wenden wir auf diesen so gebildeten Kreisproceß die Gleichung (70) an, so können wir das darin vorkommende Integral in zwei Theile theilen, von denen sich der erste auf den ursprünglich gegebenen Hingang des Körpers aus dem Anfangszustande in den Endzustand und der zweite auf den von uns hinzugefügten Rückgang aus dem Endzustande in den Anfangszustand bezieht. Wir wollen diese beiden Theile als zwei getrennte Integrale schreiben, und das zweite, nämlich das auf den Rückgang bezügliche, dadurch vom ersten unterscheiden, daß wir an das Integralzeichen den Buchstaben r als Index schreiben. Dadurch geht die Gleichung (70) über in

$$N = - \int \frac{dQ}{T} - \int_r \frac{dQ}{T}.$$

Da nun der Rückgang in umkehrbarer Weise stattfinden soll, so können wir auf das zweite Integral die Gleichung (64) anwenden, nur mit dem Unterschiede, daß wir, wenn S_0 die Entropie im Anfangszustande und S die Entropie im Endzustande bedeutet, statt der Differenz $S - S_0$ die dem Vorzeichen nach entgegengesetzte Differenz $S_0 - S$ setzen müssen, weil das hier in Rede stehende Integral rückwärts vom Endzustande bis zum Anfangszustande zu nehmen ist. Wir haben also zu schreiben:

$$\int_r \frac{dQ}{T} = S_0 - S.$$

Durch diese Substitution geht die vorige Gleichung über in:

$$(71) \quad N = S - S_0 - \int \frac{dQ}{T}.$$

Die auf diese Weise bestimmte GröÙe N bedeutet zunächst die in dem ganzen Kreisprocesse eingetretene uncompensirte Verwandlung. Da nun aber für solche Ver-

änderungen, die in umkehrbarer Weise geschehen, der Satz gilt, daß die Summe der in ihnen vorkommenden Verwandlungen Null ist, also keine uncompensirte Verwandlung in ihnen entstehen kann, so hat der als umkehrbar vorausgesetzte Rückgang nichts zur Vermehrung der uncompensirten Verwandlung beigetragen, und die GröÙe N stellt somit die uncompensirte Verwandlung dar, welche bei dem gegebenen Uebergange des Körpers aus dem Anfangszustande in den Endzustand eingetreten ist. In dem gefundenen Ausdrucke ist wieder die Differenz $S - S_0$ vollständig bestimmt, wenn der Anfangs- und Endzustand gegeben ist, und nur bei der Bildung des Integrals $\int \frac{dQ}{T}$ muß die Art, wie der Uebergang aus dem einen in den anderen stattgefunden hat, berücksichtigt werden.

§. 17. Zum Schlusse möchte ich mir noch erlauben, einen Gegenstand zu berühren, dessen vollständige Behandlung hier freilich nicht am Orte seyn würde, indem die dazu nöthigen Auseinandersetzungen zu umfangreich seyn würden, von dem ich aber doch glaube, daß selbst die nachfolgende kurze Andeutung nicht ohne Interesse seyn wird, indem sie dazu beitragen kann, die allgemeine Wichtigkeit der GröÙen, welche ich bei der Formulirung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie eingeführt habe, erkennen zu lassen.

Der zweite Hauptsatz in der Gestalt, welche ich ihm gegeben habe, sagt aus, daß alle in der Natur vorkommenden Verwandlungen in einem gewissen Sinne, welchen ich als den positiven angenommen habe, von selbst, d. h. ohne Compensation, geschehen können, daß sie aber im entgegengesetzten, also negativen Sinne nur in der Weise stattfinden können, daß sie durch gleichzeitig stattfindende positive Verwandlungen compensirt werden. Die Anwendung dieses Satzes auf das gesammte Weltall führt zu einem Schlusse, auf den zuerst W. Thomson aufmerksam gemacht hat¹⁾, und von dem ich schon in einer vor. Kurzem

1) *Phil. Mag.* 4th Ser. Vol. IV, p. 304.

veröffentlichten Abhandlung gesprochen habe¹⁾. Wenn nämlich bei allen im Weltall vorkommenden Zustandsänderungen die Verwandlungen von einem bestimmten Sinne diejenigen vom entgegengesetzten Sinne an Gröfse übertreffen, so muß der Gesamtzustand des Weltalls sich immer mehr in jenem ersteren Sinne ändern, und das Weltall muß sich somit ohne Unterlaß einem Gränzzustande nähern.

Es fragt sich nun, wie man diesen Gränzzustand einfach und dabei doch bestimmt charakterisiren kann. Dieses kann dadurch geschehen, daß man die Verwandlungen, wie ich es gethan habe, als mathematische Gröfsen betrachtet, deren Aequivalenzwerthe sich berechnen und durch algebraische Addition zu einer Summe vereinigen lassen.

Solche Rechnungen habe ich in meinen bisherigen Abhandlungen in Bezug auf die in den Körpern vorhandene Wärme und die Anordnung der Bestandtheile der Körper ausgeführt. Es haben sich dabei für jeden Körper zwei Gröfsen ergeben, der Verwandlungswerth seines Wärmeinhaltes und seine Disgregation, deren Summe seine Entropie bildet. Hiermit ist aber die Sache noch nicht erschöpft, sondern die Betrachtung muß auch noch auf die strahlende Wärme, oder, anders ausgedrückt, auf die in der Form von fortschreitenden Schwingungen des Aethers durch den Weltenraum verbreitete Wärme, und ferner auf solche Bewegungen, die nicht unter den Namen *Wärme* zu begreifen sind, ausgedehnt werden.

Die Behandlung der letzteren würde sich, wenigstens soweit es sich um Bewegungen ponderabler Massen handelt, kurz abmachen lassen, indem man durch nahe liegende Betrachtungen zu folgendem Schlusse gelangt. Wenn eine Masse, welche so groß ist, daß ein Atom dagegen als verschwindend klein betrachtet werden kann, sich als Ganzes bewegt, so ist der Verwandlungswerth dieser Bewegung gegen ihre lebendige Kraft gleichermassen als verschwindend klein anzusehen; woraus folgt, daß, wenn

1) Diese Ann. Bd. CXXI, S. 1 und Abhandlungensammlung Th. I, Abhandlung VIII.

eine solche Bewegung sich durch irgend einen passiven Widerstand in Wärme umsetzt, dann der Aequivalenzwerth der dabei eingetretenen uncompensirten Verwandlung einfach durch den Verwandlungswerth der erzeugten Wärme dargestellt wird. Die strahlende Wärme dagegen läßt sich nicht so kurz behandeln, indem es noch gewisser besonderer Betrachtungen bedarf, um angeben zu können, wie ihr Verwandlungswerth zu bestimmen ist. Obwohl ich in der vorher erwähnten, vor Kurzem veröffentlichten Abhandlung schon von der strahlenden Wärme im Zusammenhange mit der mechanischen Wärmetheorie gesprochen habe, so habe ich doch die hier in Rede stehende Frage dort nicht berührt, indem es mir dort nur darauf ankam, nachzuweisen, daß zwischen den Gesetzen der strahlenden Wärme und einem von mir in der mechanischen Wärmetheorie angenommenen Grundsatz kein Widerspruch besteht. Die speciellere Anwendung der mechanischen Wärmetheorie und namentlich des Satzes von der Aequivalenz der Verwandlungen auf die strahlende Wärme behalte ich mir für später vor.

Vorläufig will ich mich darauf beschränken, als ein Resultat anzuführen, daß, wenn man sich dieselbe Gröfse, welche ich in Bezug auf einen einzelnen Körper seine *Entropie* genannt habe, in consequenter Weise unter Berücksichtigung aller Umstände für das ganze Weltall gebildet denkt, und wenn man daneben zugleich den anderen seiner Bedeutung nach einfacheren Begriff der *Energie* anwendet, man die den beiden Hauptsätzen der mechanischen Wärmetheorie entsprechenden Grundgesetze des Weltalls in folgender einfacher Form aussprechen kann.

- 1) *Die Energie der Welt ist constant.*
- 2) *Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.*

II. Ueber die innere Reibung der Gase; von Oskar Emil Meyer.

(Fortsetzung von S. 209.)

§. 3.

Methode der Berechnung der Beobachtungen.

Um aus den beobachteten Werthen des logarithmischen Decrements der Amplituden den Werth der Reibungsconstante der Luft zu berechnen, habe ich ähnliche Formeln angewandt, wie ich sie früher für den Fall *einer* Scheibe benutzt habe ¹⁾.

Mit Vernachlässigung von Gröfsen, deren Werth von der Ordnung des Quadrats des logarithmischen Decrements ist, kann man denjenigen Theil des logarithmischen Decrements ε einer pendelnden Scheibe, welcher der Reibung der Luft seine Entstehung verdankt, ausdrücken durch die Formel

$$\varepsilon = \frac{\pi R^4}{2M} \sqrt{\frac{\pi}{2} \eta \rho T},$$

welche man leicht aus einer der früher angegebenen erhält. In derselben bezeichnet R den Radius der Scheibe, M das Trägheitsmoment des schwingenden Apparats, T dessen Schwingungszeit, endlich η und ρ Reibungscoëfficient und Dichtigkeit der Luft.

Besteht der Apparat nicht aus einer einzigen, sondern aus drei Scheiben von gleicher Gröfse, so übt die Luft auf jede der drei Scheiben denselben Einfluß aus; und es wird daher das logarithmische Decrement in diesem Falle mit demselben Grade der Annäherung den dreifachen Werth wie im ersten besitzen, so dafs es wird

$$\varepsilon' = 3 \frac{\pi R^4}{2M} \sqrt{\frac{\pi}{2} \eta \rho T}.$$

Die angewandte Beobachtungsmethode besteht nun darin, mit demselben Apparate zwei Beobachtungen anzustellen,

1) Pogg. Ann. Bd. 113.

Poggendorff's Annal. Bd. CXXV.

bei deren einer die drei an demselben befindlichen Scheiben von einander getrennt, dagegen bei der anderen zu einer einzigen vereinigt sind, und aus der Differenz der beiden auf diese Weise beobachteten logarithmischen Decremente den Werth des Reibungscoëfficienten herzuleiten. Jene Differenz anzugeben, können die obigen Formeln ohne weiteres angewandt werden; da bei beiden Beobachtungen Trägheitsmoment und Schwingungsdauer des Apparats so gut wie unverändert sind, so erhält man für die Differenz durch einfache Subtraction

$$\lambda = \varepsilon' - \varepsilon = \pi \frac{R^4}{M} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \eta \varrho T.$$

Diese Formel kann umgekehrt zur Berechnung der Reibung η aus der Differenz λ der logarithmischen Decremente sehr einfach benutzt werden.

Der Grund, welcher dazu nöthigt, statt der absoluten Werthe der logarithmischen Decremente deren Differenz der Rechnung zu Grunde zu legen, beruht darin, daß außer der Reibung der Luft an den Scheiben auf den pendelnden Apparat noch andere Kräfte hemmend wirken, wie die Steifheit der Aufhängungsdrähte und der Widerstand, den andere Theile des Apparats, z. B. der zur Beobachtung dienende Spiegel, von der Luft erleiden. Der Einfluß dieser anderen Kräfte verschwindet fast vollständig aus der Differenz; denn dieselben wirken in beiden Experimenten auf den Apparat in nahezu gleicher Weise.

Die soeben erörterte Weise der Berechnung der Reibung aus den beobachteten Decrementen enthält einige nicht streng erfüllte Voraussetzungen, welche wegen des durch sie verursachten Fehlers eine nähere Besprechung verdienen.

Zunächst ist zu erwähnen, daß in der Betrachtung alle Größen als unmerklich vernachlässigt worden sind, deren Werth von der Ordnung der Quadrate der logarithmischen Decremente ist. Diese Vernachlässigung ist aber vollkommen berechtigt, wie es durch die unten angegebenen Zahlenwerthe bewiesen werden wird. Hierauf gründet sich auch die Berechtigung der Annahme, daß aus der Diffe-

renz λ der beiden logarithmischen Decremente des Apparats bei getrennten und bei vereinigten Scheiben der Einfluss aller hemmenden Kräfte mit alleiniger Ausnahme der Reibung verschwunden seyn solle. Dieß ist nicht ganz richtig. Denn wenn der Apparat unter größerem Einflusse der Luftreibung schwingt, so erfahren seine langsameren Schwingungen von sonstigen hemmenden Kräften einen anderen Einfluss, als wenn die Luft geringere Reibung ausübt, so daß der Apparat rascher schwingt. Doch ist der Unterschied der Oscillationsgeschwindigkeiten des Apparats in beiden Fällen eine GröÙe von der Ordnung der logarithmischen Decremente. Der Einfluss, den dieser kleine Unterschied auf den Werth der logarithmischen Decremente selbst ausüben kann, ist demnach eine kleine GröÙe zweiter Ordnung, wie das Quadrat der Decremente, und kann mit Recht vernachlässigt werden.

Es ergibt sich hiernach von selbst, daß eine Correction wegen der Luftreibung an den Rändern der Scheiben, wie sie bei meiner frühern Untersuchung nöthig war, jetzt ebenso wenig erforderlich ist, wie eine solche wegen der Theile des Apparates, welche wegen der Abweichung ihrer Form von der eines Rotationskörpers der Luft Widerstand bieten.

Viel wichtiger ist ein anderer Fehler, der sich auch schon bei den älteren Beobachtungen geltend machte. Es ist nämlich in der Theorie alle Bewegung unberücksichtigt geblieben, welche sich über den Rand der Scheiben hinaus ausbreitet. Daher konnte auch der hemmende Einfluss, den die cylindrische Wand der Glocke, in der sich der Apparat befand, auf dessen Schwingungen ausübte, nicht in die Rechnung eingeführt werden. Aufser diesem habe ich auch den unberücksichtigt gelassen, welchen Boden und Deckel der Glocke ausüben, obwohl sich für diesen nach Anleitung der früher mitgetheilten Rechnungen ¹⁾ Formeln aufstellen ließen. Ich habe dieß mit bewußter Absicht unterlassen, indem ich von dem Princip ausging, daß es

1) Crelle-Borchardt's Journ. für Math. Bd. 59.

fehlerhaft ist, eine Correction zu berücksichtigen, wenn man eine andere von gleichem Gewicht und von gleicher Berechtigung anzubringen unterläßt. Durch den vergeblichen Versuch einer numerischen Berechnung habe ich mich überzeugt, wie richtig dieß Princip auf den gegenwärtigen Fall anzuwenden ist; denn ohne dieses würde man zu wahrhaft fabelhaften Vorstellungen von der großen Zähigkeit der Luft gelangen. Ich habe daher derartige Correctionen ganz unterlassen und habe lieber an der nicht ganz richtigen Anschauung, die weiter unten einer experimentellen Prüfung unterworfen wird, festgehalten, daß die Bewegung der Luft sich von den Scheiben nicht bis zu den Wandungen des umschlossenen Raumes ausbreite, und daß in Folge dessen die Bewegung des Apparats durch den Einfluß der Wandungen nicht merklich verzögert werde.

Diese Mängel der Theorie müssen verursachen, daß die Berechnung meiner Beobachtungen etwas zu große Werthe des Reibungscoëfficienten der Luft liefert. Dieser Umstand giebt sich deutlich durch eine Vergleichung meiner Zahlen mit dem oben angegebenen Resultate der Beobachtung Bessel's zu erkennen, da meine Angaben fast durchweg erheblich größer sind, als aus der Bessel'schen Messung folgt. Ich bin daher geneigt, der letzteren das größte Gewicht von allen beizulegen.

Der in Rede stehende Fehler ist besonders beträchtlich bei den in sehr verdünnter Luft ausgeführten Bestimmungen. Denn je geringer die Dichtigkeit derselben ist, um so weiter breitet sich durch dieselbe die Bewegung durch Reibung aus. Daher kommt es, daß meine in sehr verdünnter Luft angestellten Beobachtungen zur Berechnung der Reibung nach der oben angegebenen Formel nicht zu verwerthen sind; dieselben haben vielmehr, bis eine strengere Theorie gefunden seyn wird, nur den Werth, zu zeigen, daß man auch im sogenannten luftleeren Raume der Glocke einer Luftpumpe die Reibung der Luft ohne besonders feine Hilfsmittel sehr leicht nachweisen kann, und daß in Folge davon Baily's Methode zur Bestimmung

der aërodynamischen Correction des Pendels nicht zulässig ist.

Endlich ist noch als Mangel der Theorie zu erwähnen, daß in derselben auf die Verdünnung und Verdichtung der Luft in Folge der Schwingungen des Apparats keine Rücksicht genommen worden ist¹⁾. Der hieraus entstehende Fehler ist aber ganz unerheblich. Eine Schätzung desselben wird möglich durch die Theorie von Versuchen in der Art, wie sie G. A. Freund²⁾ im Laboratorium des Hrn. Geh. Raths Magnus in Berlin ausgeführt hat. Bei diesen Experimenten wurde ein Cylinder mit beträchtlicher Geschwindigkeit um seine Axe gedreht, und man beobachtete die Geschwindigkeit der Luft, welche durch ihre Reibung mit in Bewegung gesetzt wurde.

Bei der Theorie dieser Versuche³⁾ führt Hr. Freund statt der wirklich stattfindenden die Voraussetzungen ein, daß der rotirende Cylinder unendlich lang und das umgebende Medium eine incompressible Flüssigkeit sey. So kommt er zu den Differential-Gleichungen

$$0 = \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right);$$

$$0 = \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial y} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right);$$

$$0 = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y};$$

1) Die Differentialgleichungen sind mit Rücksicht auf die Aenderungen der Dichtigkeit von Poisson (*Journ. de l'école pol. t. 13, cah. 20, p. 139*), von Stokes (*Cambr. phil. Tr. 8*) und von Stefan (*Wiener Sitzungsberichte, Bd. 46*) aufgestellt worden. Die Resultate der beiden ersteren stimmen unter gewissen Voraussetzungen mit einander überein (Stokes, *Cambr. Tr. 8, p. 312*; *Brit. Assoc. 1846, p. 18*). Das Resultat Stefan's weicht von diesen ab, doch ist der Grund dieser Abweichung wohl nur in der verschiedenen Definition des hydrodynamischen Drucks zu suchen, die bei Stefan nicht ausdrücklich gegeben ist. Die Integration der Gleichungen gelingt für das hier vorliegende Problem nicht.

2) Pogg. Ann. Bd. 118. 1863.

3) Schon von Stokes entwickelt. *Cambr. Tr. 8, p. 303*.

in denen x und y zwei senkrecht gegen die Cylinderaxe gerichtete Coordinaten, u und v die Geschwindigkeiten der Luft nach diesen Richtungen, p ihren Druck, ρ ihre Dichtigkeit und μ ihren Reibungscoëfficienten bezeichnet.

Es wird dann eingeführt, daß u , v und p nur insofern von x und y abhängen, als sie Functionen der Entfernung r von der Drehungsaxe sind, für welche

$$r^2 = x^2 + y^2$$

ist. Ferner wird gesetzt

$$u = -y\psi; \quad v = x\psi,$$

so daß ψ die Winkelgeschwindigkeit bedeutet.

Führt man diels in die Differentialgleichungen ein, so wird die dritte identisch erfüllt, und die beiden ersten liefern:

$$0 = \frac{d^2\psi}{dr^2} + \frac{3}{r} \frac{d\psi}{dr};$$

$$0 = \frac{dp}{dr} - \rho r \psi^2.$$

Aus der ersten dieser Gleichungen folgt, da ψ für $r = \infty$ verschwinden muß,

$$\psi = \frac{C}{r^2}.$$

Die hier vorkommende Constante C kann aus der Bemerkung bestimmt werden, daß die Flüssigkeit, wenn sie an dem Cylinder haftet, an seiner Oberfläche eine der seinen gleiche Winkelgeschwindigkeit besitzt. Nenne ich diese Ψ und den Radius des Cylinders R , so wird

$$\psi = \Psi \frac{R^2}{r^2}$$

die Geschwindigkeit eines Flüssigkeitstheilchens in der Entfernung r von der Axe des Cylinders.

Zur Bestimmung des Druckes p hat man ferner

$$dp = \rho \psi^2 r dr,$$

und, da die Flüssigkeit uncompressibel, die Dichtigkeit ρ also constant angenommen worden ist, durch Einsetzen des Werths von ψ und Integration

$$p = P - \frac{1}{2} \rho \Psi^2 \frac{R^4}{r^2}.$$

Die Constante P ist, da für $r = \infty$ p in P übergeht, der in weiter Entfernung von dem rotirenden Cylinder stattfindende Druck, und sie erhält durch die Bemerkung, daß auch mit unendlich abnehmendem Ψ p sich in P verwandelt, die Bedeutung des Druckes, unter dem die Flüssigkeit stehen würde, wenn der Cylinder still stände. Demnach ist die GröÙe

$$P - p = \frac{1}{2} \rho \Psi^2 \frac{R^4}{r^2}$$

die Erniedrigung des Druckes, welche durch die Rotation des Cylinders hervorgebracht wird.

Es erscheint nun freilich keineswegs unbedenklich, diese Formeln auf die Messungen anzuwenden, die Hr. Freund in der Luft angestellt hat. In der That genügt ein Blick auf die von ihm selbst zusammengestellte Tabelle¹⁾, zu zeigen, daß der für die Winkelgeschwindigkeit gefundene Ausdruck der Beobachtung nicht ganz entspricht. Dieselbe beweist vielmehr durch die Regelmäßigkeit der Differenzen, deren Werthe nicht zu vernachlässigen sind, die Unzulänglichkeit der Theorie, deren Ursache näher liegen dürfte, als sie Hr. Freund sucht.

Indefs ist die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung doch so groß, daß aus den Formeln mit ziemlicher Annäherung die Werthe der Geschwindigkeit geschätzt werden können. Daraus läßt sich schließen, daß die auf denselben Voraussetzungen beruhende Formel für den Druck ausreichen wird, die richtigen Werthe desselben annäherungsweise zu schätzen.

Ich wende deshalb die zuletzt aufgestellte Formel an, das Maximum der Erniedrigung des Luftdrucks durch die Rotation zu bestimmen. Dieses findet unmittelbar an der Oberfläche des rotirenden Cylinders statt und beträgt

$$P - p = \frac{1}{2} \rho \Psi^2 R^2.$$

Diese Erniedrigung des Druckes entspricht einem Sinken des Barometers um

$$h = \frac{\rho \Psi^2 R^2}{2 Q g};$$

1) Tabelle V, S. 15 d. cit. Abb.

worin Q die Dichtigkeit des Quecksilbers, g die Schwere bezeichnet.

Um ein Zahlenbeispiel zu berechnen, wähle ich die von Freund angegebenen Zahlen. Bei seinen Versuchen machte der Cylinder 6 bis 12 Umdrehungen in der Secunde; es ist also

$$\Psi = 12\pi \text{ bis } 24\pi;$$

ferner ist

$$R = 9'',$$

und ich setze

$$g = 30'$$

$$\rho = \frac{1}{770};$$

$$Q = 13.$$

Dann finde ich einen Werth von h , der kleiner ist als

$$h = 0'',01.$$

Eine so kleine Aenderung des Barometerstandes entgeht gänzlich der Beobachtung. Es scheint darnach berechtigt zu seyn, daß man die Verdünnung der Luft durch die Centrifugalkraft vernachlässigt, selbst bei Versuchen, in denen mit so beträchtlichen Geschwindigkeiten experimentirt wurde. Bei meinen Beobachtungen war die Geschwindigkeit im Durchschnitt einige hundert mal geringer, so daß bei diesen von Verdünnungen und Verdichtungen der Luft nicht wohl die Rede seyn kann.

§. 4.

Die Constanten des Apparats.

Die im vorigen Paragraphen aufgestellten Formeln enthalten außer der Reibung und Dichtigkeit der Luft eine Reihe von Größen, deren Werth die Eigenschaften des gewählten Apparats charakterisirt. Namentlich gehören dazu die *Dimensionen* und das *Trägheitsmoment* desselben.

Die *Durchmesser der Scheiben* maafs ich an den messingenen mit einem Oertling'schen Kathetometer, an den gläsernen mit einem eisernen Maafsstabe, dessen verschiebbarer Nonius 20stel Millimeter angiebt. An jeder Scheibe

maafs ich zwei auf einander senkrechte Durchmesser und wiederholte jede Messung mehrere Male. Die Abweichungen derselben vom Mittel waren immer kleiner als $\frac{1}{20}$ Millimeter. Es wurde im Mittel gefunden:

1. Messingscheiben	Durchmesser	Zahl der Messungen
obere	$2R = 199^{\text{mm}},83$	6
mittlere	" 199 ,76	5
untere	" 199 ,80	6
2. Glasscheiben		
obere	$2R = 151^{\text{mm}},47$	12
mittlere	" 151 ,31	12
untere	" 151 ,51	12.

Mit demselben Maafsstabe maafs ich auch an verschiedenen Stellen des Umfangs die *Dicken der Messingscheiben*. Dabei zeigte sich, dafs dieselben nicht überall genau gleich dick sind; die Abweichungen steigen bis 0,1 Millimeter. Im Mittel ergaben je 6 bis 8 Messungen für die Dicke der

oberen Scheibe	$1^{\text{mm}},46$
mittleren "	1 ,30
unteren "	1 ,23.

Auf dem Stabe (Fig. 15 Taf. II), der zum Tragen der Gewichte bei der Bestimmung des Trägheitsmomentes diente, maafs ich ferner die *Entfernungen der Aufhängungspunkte der Gewichte von einander*. Dazu benutzte ich wieder das Kathetometer, dessen Mikroskop auf die Mitte der markirten Punkte eingestellt wurde. Die 15 relativen Entfernungen der sechs Punkte von einander maafs ich je 2 bis 3 mal und combinirte sämmtliche 35 Ablesungen, aus denen ich 33 Messungen erhielt, nach der Methode der kleinsten Quadrate. Nach dieser Rechnung ist in Millimetern

$$\begin{aligned} 2L_1 &= 159,803 \text{ die grösste,} \\ 2L_2 &= 109,800 \text{ die mittlere,} \\ 2L_3 &= 59,818 \text{ die kleinste} \end{aligned}$$

Entfernung der aufgehängten Gewichte von einander. Von den berechneten Fehlern der 35 Ablesungen ergaben sich die drei absolut grössten zu $+0,0228$ zu $-0,0176$ und

$\pm 0,0173$; von den übrigen lagen 5 zwischen $\pm 0,010$ und $\pm 0,014$, dagegen 27 zwischen $\pm 0,008$ und $0,000$.

Die *Dimensionen der Glasglocke*, welche den schwingenden Apparat umgab, habe ich in sehr viel roherer Weise gemessen, indem ich einen Maafsstab wagrecht über ihre Ränder legte, während ein zweiter senkrecht in der Glocke stand. So erhielt ich ein System von Abscissen und Ordinaten eines durch die Mitte der Glocke vertical gelegten Querschnitts. Der innere Durchmesser der Glocke schwankt zwischen 227 und 228 Millimeter. Die Tiefe ergibt sich aus folgender Tabelle.

Horizontaler Abstand vom inneren Rande.	Tiefe der Glocke.
10 ^{mm}	120 ^{mm}
20	127
30	131
40	134
50	136
70	140
Mitte	138

Nach diesen Messungen ist der Querschnitt in Fig. 5 Taf. II gezeichnet.

Hiernach läßt sich leicht übersehen, in welchen Entfernungen von den Wänden die Scheiben aufgehängt waren, wenn noch der Abstand der mittleren festen Scheibe vom Teller der Glocke bekannt ist. Dieser betrug 54 bis 55 Millimeter. Eine unmittelbare Anschauung der Verhältnisse gewähren die Zeichnungen auf der Tafel.

Dasselbe Kathetometer habe ich ferner zur *Berichtigung der angewandten Scaln und Maafsstäbe* benutzt. Ich unterdrücke aber die Einzelheiten dieser Messungen und bemerke, dafs an allen Zahlenangaben die erforderlichen Correctionen bereits angebracht, diese also, soweit sie Einheiten der Länge enthalten, sämtlich auf dieselbe Einheit, das Millimeter der Scale des Oertling'schen Kathetometers bezogen sind.

Auch die *Thermometer* habe ich calibrirt und die Lage

des Gefrier- und Siedepunkts auf ihren Scalen bestimmt, so daß die Ablesungen bis auf $0^{\circ},04$ der hunderttheiligen Scale verbürgt werden können. Durch eine besondere Beobachtungsreihe untersuchte ich den Einfluß des Luftdrucks auf den Stand des Thermometers (α , Fig. 1 und 5, Taf. II), dessen Kugel sich innerhalb der Glocke, also bald im luftverdünnten, bald im luftgefüllten Raume befand. Zu dem Ende brachte ich dieß Thermometer unter die Glocke einer Luftpumpe und hängte ein anderes an der Glocke auf. Durch mehrfach wiederholte Versuche ergab sich, daß unmittelbar nach dem Evacuiren das Thermometer um einen halben bis zu einem ganzen Grade sank; darauf begann es langsam zu steigen, bis es nach etwa einer halben Stunde mit dem aufsen angebrachten übereinstimmte; und ließ ich dann Luft wieder zu, so stieg das Thermometer in der Glocke um ebenso viel, als es beim Auspumpen gefallen war; nach einiger Zeit aber zeigten beide Thermometer wieder gleichen Stand. Diese beobachtete Erniedrigung des Standes beim Evacuiren und das Steigen beim Zulassen der Luft hörte fast ganz auf, als ich das Thermometer nicht frei, sondern in entwässertem Glycerin unter die Glocke der Luftpumpe brachte. Nach diesen Erfahrungen kann es nicht zweifelhaft seyn, daß das beobachtete Steigen und Fallen des Thermometerstandes lediglich von den Temperaturänderungen hervorgerufen wurde, welche die Compression und die Ausdehnung der Luft mit sich brachte, daß aber diese Schwankungen nicht abhingen von dem veränderten Drucke auf die Kugel des Thermometers. Die Angaben des Thermometers bedürfen also keiner Correction wegen des Druckes. Vor den Temperatur-Änderungen aber waren meine Beobachtungen dadurch sicher gestellt, daß, was auch aus anderen Gründen nothwendig war (s. S. 207), die Beobachtungen immer erst begonnen wurden, nachdem die Schwingungen des Apparates bereits längere Zeit in dem gewünschten Zustande fortgedauert hatten.

Die capillare Depression des Quecksilbers im Manome-

terrohre ist direct gemessen und bei den folgenden Angaben schon in Abzug gebracht worden.

Die *Wägung der Apparate und der angehängten Gewichte* lieferte nachfolgende Resultate. Das Gewicht des *messingenen Scheibenapparats* mit allen seinen mitschwingenden Theilen fand ich durch eine Wägung, deren Fehler nicht mehr als 0,0065 Grm. betragen kann, zu 1179,706 Grm. Der *gläserne Scheibenapparat* wiegt dagegen 303,866 Grm., welche Zahl bis auf 0,004 genau ist. Ferner wiegt der *Hülfapparat* zur Bestimmung des Trägheitsmoments, ebenfalls mit allen mitschwingenden Theilen und mit angehängten größeren Gewichten (Halbkilogramme, Fig. 13 Taf. II) 1056,881 Grm., welche Zahl einen möglichen Fehler von 0,002 enthalten kann; mit den kleineren Gewichten (mit Ringbügeln, Fig. 14) aber wiegt er 303,416 Grm. Es ist also das Gewicht des Hülfapparats mit den angehängten Gewichten in beiden Fällen sehr nahe gleich dem des Scheibenapparats, so daß eine Aenderung der Torsion der Aufhängungsdrähte durch wechselnde Belastung nicht zu fürchten ist. Die Ringbügel-Gewichte wiegen für sich allein nach einer von Hrn. Prof. Listing freundlichst ausgeführten Wägung zusammen 246,721 Grm. Das Gewicht der beiden Halbkilogramme zusammen habe ich gleich 1000,090 Grm. gefunden ¹⁾.

Bei der Bestimmung des *Trägheitsmomentes* der schwingenden Apparate habe ich mir zugleich die Aufgabe gestellt, die Zulässigkeit der von Gauß zu diesem Zwecke erfundenen Methode zu prüfen. Nach dieser Methode wird die gesuchte Gröfse aus der gemessenen Schwingungsdauer des Apparates bestimmt und aus der Vergrößerung, welche

- 1) In den Resultaten usw. von Gauß und Weber (Jahrgang 1840, S. 133) wird dasselbe zu 999,990 Grm. angegeben. Die Abweichung um 0,1 Grm., welche für den gegenwärtigen Zweck ganz unbeachtet bleiben kann, mag theils in einigen Rostflecken auf den Gewichten, theils in einer Verschiedenheit der Einheit der angewandten Gewichtssätze ihren Grund haben. Diejenige meiner Gewichte ist durch Vermittlung eines Gewichtssatzes des Hrn. Prof. Neumann in Königsberg auf das Altonaer Platin-Kilogramm reducirt,

diese Zeit erfährt, wenn an dem Apparate Gewichte von bekannter Masse in gemessenen Entfernungen von der Drehungsaxe aufgehängt werden. Die angehängten Gewichte setzen die umgebende Luft mit in Bewegung; und dieser Umstand läßt es zweifelhaft erscheinen, ob die Gauß'sche Methode auch in den Fällen anwendbar ist, in denen die Gewichte bedeutenden, der Apparat selbst aber geringen Widerstand oder Reibung von der Luft erleidet. Ich habe mich aus diesem Grunde bei einer früheren Gelegenheit gegen die allgemeine Anwendbarkeit ausgesprochen¹⁾; und ähnlich urtheile ich noch jetzt über die Methode.

Zur Unterstützung des angeführten theoretischen Einwandes habe ich damals einige Versuche mitgetheilt, welche mit einem ähnlichen Apparate angestellt worden waren. Diese Versuche beweisen jedoch schon deshalb wenig, weil sie nicht systematisch genug durchgeführt sind. Sie sind ferner z. Th. mit unifilar aufgehängten Apparaten angestellt, wodurch sie, wie schon dort bewiesen, unbrauchbar geworden sind. Endlich läßt sich gegen dieselben noch ein weiterer Einwand geltend machen, auf den mich ein sehr kompetenter Beurtheiler aufmerksam zu machen die Güte hatte. Bei jenen Versuchen hängte ich nämlich die Gewichte an dünnen Metalldrähten auf, welche über den Rand einer horizontal aufgehängten Scheibe herabhingen. Bei dieser Art der Aufhängung entsteht aber ein Zweifel, ob die Gewichte genau auf der Kante der Scheibe hängen oder von derselben um eine Gröfse entfernt, welche gleich einem Bruchtheil der Drahtdicke ist.

Wegen dieser Einwände habe ich es nicht für überflüssig gehalten, durch neue Versuche die Fehler festzustellen, welche durch den Einfluß der Luft auf die Gewichte der Gauß'schen Methode erwachsen können. Zu dem Ende habe ich Bestimmungen in der Luft und im möglichst luftleer gepumpten Raume ausgeführt. Um diese Versuche ausführen zu können, ist die Länge des Stabes,

1) Pogg. Ann. Bd. 113, S. 197 und 210. 1861.

an welchem die Gewichte aufgehängt wurden, so kurz gewählt worden.

Zur Bestimmung des Trägheitsmoments des messingenen Scheibenapparats durch die Halbkilogramme stellte ich eine Reihe von Beobachtungen an, deren Resultate ich hier zusammenstelle. Ich bezeichne dabei durch α und γ die Angaben der (in den Figuren 2 und 5 Taf. II mit denselben Buchstaben benannten) Thermometer im Deckel der Glocke und am Fusse des Apparates, und zwar das Mittel aus zwei Ablesungen, von denen die erste kurz vor Beginn, die zweite sogleich nach Beendigung der Schwingungsbeobachtungen gemacht wurde. Ferner gebe ich durch T die beobachteten Werthe der Schwingungszeit des Scheibenapparats in Secunden, durch T_1, T_2, T_3 die des Hilfsapparats mit den in drei verschiedenen Abständen aufgehängten Gewichten an, und durch $\varepsilon, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ die zugehörigen Mittelwerthe der logarithmischen Decremente in natürlichen Logarithmen. Jede dieser Gröſsen T und ε ist bestimmt durch 12malige Wiederholung einer Messung während eines Zeitraumes, der mindestens 418 einfache Schwingungen umfasste. Ich benutzte zu den Beobachtungen, die im magnetischen Pavillon angestellt wurden, die in demselben stehende Pendeluhr.

1862. Sept. 19. Scheibenapparat.

1. Im luftleeren Raume.

$\alpha: 18^{\circ},8 \text{ C.}; \gamma: 21^{\circ},1 \text{ C.}; T = 14'',182; \varepsilon = 0,00144.$

2. Im luftgefüllten Raume.

$\alpha: 18^{\circ},5 \text{ C.}; \gamma: 20^{\circ},4 \text{ C.}; T = 14'',180; \varepsilon = 0,00302.$

Sept. 20. Hilfsapparat, Gewichte in d. größten Entfernung.

1. Im luftverdünnten Raume.

$\alpha: 18^{\circ},2 \text{ C.}; \gamma: 18^{\circ},7 \text{ C.}; T_1 = 16'',470; \varepsilon_1 = 0,0010.$

2. Im luftgefüllten Raume.

$\alpha: 18^{\circ},0 \text{ C.}; \gamma: 17^{\circ},8 \text{ C.}; T_1 = 16'',477; \varepsilon_1 = 0,0017.$

Sept. 21. Gewichte in mittlerer Entfernung.

1. Im luftverdünnten Raume.

$\alpha: 15^{\circ},6 \text{ C.}; \gamma: 16^{\circ},2 \text{ C.}; T_2 = 11'',594; \varepsilon_2 = 0,0013.$

2. Im luftgefüllten Raume.

$\alpha: 16^{\circ},1 \text{ C.}; \gamma: 16^{\circ},3 \text{ C.}; T_2 = 11'',591; \varepsilon_2 = 0,0014.$

Sept. 22. Gewichte in der kleinsten Entfernung.

1. Im luftleeren Raume.

$$\alpha: 14^{\circ},5 \text{ C.}; \quad \gamma: 15^{\circ},0 \text{ C.}; \quad T_3 = 6'',981; \quad \varepsilon_3 = 0,0009.$$

2. Im luftgefüllten Raume.

$$\alpha: 14^{\circ},8 \text{ C.}; \quad \gamma: 14^{\circ},9 \text{ C.}; \quad T_3 = 6'',983; \quad \varepsilon_3 = 0,0015.$$

Sept. 23. Scheibenapparat.

1. Im luftleeren Raume.

$$\alpha: 14^{\circ},9 \text{ C.}; \quad \gamma: 15^{\circ},6 \text{ C.}; \quad T = 14'',216; \quad \varepsilon = 0,00140.$$

2. Im luftgefüllten Raume.

$$\alpha: 14^{\circ},9 \text{ C.}; \quad \gamma: 14^{\circ},8 \text{ C.}; \quad T = 14'',228; \quad \varepsilon = 0,00301.$$

Obwohl die Feinheit der Messung weit genug getrieben ist, um die Tausendtheile einer Secunde mit Sicherheit zu beobachten, so überschreiten doch die unregelmäßigen Abweichungen der gefundenen Werthe der Schwingungszeiten diese Gränze bei weitem. Es ist darnach anzunehmen, daß die Construction des Apparats nicht unveränderlich genug ist, um eine sichere Messung so kleiner Gröſsen zu gestatten. Demnach fallen die Unterschiede der in der Luft und der im luftleeren Raume beobachteten Werthe der Schwingungszeiten innerhalb der Gränzen der möglichen Fehler; und es ist zu erwarten, daß die Berechnung des Trägheitsmoments aus den im luftleeren Raume angestellten Beobachtungen nicht merklich anders ausfallen wird, als aus den in der Luft ausgeführten Messungen.

Nach bekannten theoretischen Betrachtungen beruht die von Gauß erfundene Bestimmungsart eines Trägheitsmoments auf der der unter einander gleichen Gröſsen

$$\frac{L_1^2 - L_2^2}{T_1^2 - T_2^2} = \frac{L_1^2 - L_3^2}{T_1^2 - T_3^2} = \frac{L_2^2 - L_3^2}{T_2^2 - T_3^2} = \text{etc.}$$

in welchen T_1, T_2, T_3 etc. die Werthe der Schwingungszeiten eines Apparats darstellen, welcher mit einem Paare von Gewichten, die in den Entfernungen L_1, L_2, L_3 etc. von der Drehungsaxe angebracht sind, beschwert worden ist. Berechne ich die Werthe dieser Gröſsen, die einander gleich seyn sollten, aus den oben angegebenen Beobachtungsdaten, so finde ich aus den Messungen

	in der Luft	im Vacuum
$4 \frac{L_1^2 - L_2^2}{T_1^2 - T_2^2} =$	98,29;	98,50;
$4 \frac{L_1^2 - L_3^2}{T_1^2 - T_3^2} =$	98,59;	98,68;
$4 \frac{L_2^2 - L_3^2}{T_2^2 - T_3^2} =$	99,07;	98,95;
im Mittel	98,65;	98,71.

Die gefundenen Werthe stimmen also nicht genau unter einander überein; sondern es zeigt sich, daß sie um so grösser ausfallen, je kleiner die zur Bestimmung gewählten Werthe der Entfernungen L sind.

Ich nehme als Werth dieser Grösse den mittleren 98,7 an. Aus derselben läßt sich nach einfachen Formeln, welche Gauß angegeben hat¹⁾, das Trägheitsmoment des Scheibenapparats berechnen. An denselben ist nur eine kleine Aenderung anzubringen wegen des wechselnden Drehungsmoments der Schwere, gegen welches das Torsionsmoment der Aufhängungsdrähte vernachlässigt werden darf. Führt man die angegebenen Werthe der Gewichte des Scheibenapparats, des Hülfsapparats und der angehängten Halbkilogramme ein, und nimmt man im Mittel die Schwingungsdauer des Scheibenapparats $T = 14",20$ an, so ergibt sich für das *Trägheitsmoment* dieses Apparats der Werth

$$M = 55500,$$

welcher die Masse eines Grammes und die Länge eines Centimeters als Einheiten enthält.

Nach den gewonnenen Erfahrungen ist es ohne Nutzen, die in der Luft angestellten Beobachtungen im Vacuum zu wiederholen. Ich habe daher die zur Bestimmung des Trägheitsmoments des gläsernen Scheibenapparats nöthigen Beobachtungen, bei denen der Hülfsapparat, mit den kleineren Ringbügel-Gewichten belastet, angewandt wurde, nur in der Luft ausgeführt. Bei Angabe derselben behalte ich die bisherige Bezeichnung der gemessenen Grössen bei, füge denselben aber noch den Stand des über dem Teller hän-

1) *Intensitas etc. Comm. rec. soc. Gott. Vol. 8.*

genden Thermometers β . (Fig. 2 und 5 Taf. II) und die nicht corrigirte Ablesung des Barometers B bei.

1864 Febr. 20. Gläserner Scheibenapparat.

$$\alpha : 21^{\circ},6 \text{ C.}; \quad \beta : 22^{\circ},8; \quad \gamma : 20^{\circ},0; \quad B : 749,5^{\text{mm}}$$

$$T = 8,9365. \quad \varepsilon = 0,0079.$$

Febr. 21. Hilfsapparat, Gew. in d. größten Entfernung.

$$\alpha : 18^{\circ},6 \text{ C.}; \quad \beta : 20^{\circ},1; \quad \gamma : 17^{\circ},3; \quad B : 740,0^{\text{mm}}$$

$$T_1 = 14,1250. \quad \varepsilon_1 = 0,0059.$$

Gewichte in der mittleren Entfernung.

$$\alpha : 23^{\circ},0 \text{ C.}; \quad \beta : 22^{\circ},8; \quad \gamma : 20^{\circ},4.$$

$$T_2 = 9,9139. \quad \varepsilon_2 = 0,0047.$$

Febr. 22. Gewichte in der kleinsten Entfernung.

$$\alpha : 19^{\circ},8 \text{ C.}; \quad \beta : 20^{\circ},5; \quad \gamma : 18^{\circ},7; \quad B : 743,75^{\text{mm}}$$

$$T_3 = 5,9137 \quad \varepsilon_3 = 0,0051$$

Scheibenapparat.

$$\alpha : 21^{\circ},0 \text{ C.}; \quad \beta : 22^{\circ},2; \quad \gamma : 20^{\circ},2; \quad B : 746,45^{\text{mm}}$$

$$T = 8,9375. \quad \varepsilon = 0,0079.$$

Jede dieser Messungen stützt sich auf die Beobachtung von 8 Durchgängen, die auf ein Zeitintervall von 336 Schwingungen regelmässig vertheilt sind. Zur Zeitbestimmung diente das erwähnte Chronometer des Hrn. Prof. von Seebach. Die Beobachtungen wurden im Hospitale angestellt.

Aus den angegebenen Zahlen ergeben sich für diesen Apparat folgende Werthe der nach der Theorie constanten Gröfse.

$$4 \frac{L_1^1 - L_1^3}{T_1^1 - T_1^3} = 133,17;$$

$$4 \frac{L_1^1 - L_2^3}{T_1^1 - T_2^3} = 133,45;$$

$$4 \frac{L_2^1 - L_3^3}{T_2^1 - T_3^3} = 133,90;$$

Nimmt man den Mittelwerth 133,5 als richtig an, so erhält man auf dieselbe Weise wie oben aus demselben für das *Trägheitsmoment des gläsernen Scheibenapparates* den Werth

$$M = 6580,$$

der ebenfalls auf Gramm und Centimeter als Einheiten bezogen ist.

Die soeben angegebenen drei Zahlen, welche der Gauss'schen Theorie nach, einander hätten gleich seyn sollen, zeigen, wie die oben angegebenen, eine geringe Zunahme bei abnehmenden Werthen der Entfernungen L . Dasselbe bemerkt man bei einer Zahlenreihe von ganz ähnlicher Bedeutung, welche von Piotrowski mitgetheilt hat¹⁾. Dieselbe bezieht sich auf zwei mit A und B bezeichnete Anordnungen seines Apparats und auf drei verschiedene Abstände eines Paares beweglicher Gewichte von der Drehungsaxe des Apparats. Geordnet nach den abnehmenden Größen dieser Abstände sind die angegebenen Werthe:

Anordnung A.	Anordnung B.
1189	1166
1197	1180
1192	1205.

Man kann das übereinstimmende Verhalten dieser vier mit verschiedenen Apparaten erhaltenen Zahlenreihen nicht für einen Zufall halten. Vielmehr glaube ich dasselbe als eine gesetzmäßige Folge des Einflusses der Luft auf die mit dem Apparate schwingenden Gewichte ansehen zu müssen. Es läßt sich leider, da eine strenge Theorie dieser Versuche mit sehr bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft zu seyn scheint, nicht von vorn herein übersehen, ob die Aenderung der Zahlen in dem Sinne, wie sie beobachtet ist, oder im entgegengesetzten eintreten muß, wenn die vermuthete Ursache die wirkliche ist. Eine sichere Entscheidung über die Berechtigung dieser Vermuthung ist daher jetzt nicht möglich.

Der gegebenen Erklärung scheint zu widersprechen, daß ein ähnliches Wachsen jener Zahlenwerthe mit abnehmendem Werthe der Entfernungen der Gewichte sich in nur wenig schwächerem Grade auch bei denjenigen Zahlen zeigt, die aus den im luftleeren Raume angestellten Beobachtungen hergeleitet sind. Beachtet man indess die schon

1) Sitzungsberichte der Wiener Akademie, 1860, Bd. 40 S. 619.

mehrfach erwähnte Thatsache, für die ich weiter unten die beweisenden Versuche angeben werde, das nämlich in der sehr verdünnten Luft in einem möglichst luftleer gepumpten Raume noch eine sehr merkliche Reibung stattfindet, so kann die erwähnte Erscheinung nicht im mindesten auffallen, noch einen Gegengrund gegen die versuchte Erklärung abgeben.

Die Gauß'sche Methode zur Bestimmung des Trägheitsmoments scheint demnach wirklich fehlerhaft seyn zu können, wenn es sich um so feine Bestimmungen handelt, das der geringe Einfluß der Luft berücksichtigt werden muß. Man hat aber bisjetzt, soviel ich weiß, solche Aenderungen jener nach der Theorie constanten GröÙe, wie ich sie beobachtet habe, nicht bemerkt, obwohl die Methode schon oft mit sehr feinen Hilfsmitteln der Beobachtung zur Anwendung gebracht worden ist. Nun aber ist zu beachten, das, wenn auch jene GröÙe aus allen Bestimmungen übereinstimmend hervorgeht, dies nicht als ein Beweis dafür angesehen werden darf, das der Einfluß der Luft auf die pendelnden Gewichte verschwindend klein sey; sondern es bleibt die andere Möglichkeit, das die Gewichte immer die gleiche Luftmasse in Bewegung setzen, ohne das diese bei allen Werthen der Entfernung ein gleiches Trägheitsmoment besäÙe. In diesem Falle bleibt der Fehler der Methode, versteckt sich aber hinter einer anscheinenden Uebereinstimmung der Resultate. Es ist sehr wohl möglich, das dies immer eintritt, wenn die Entfernungen der Gewichte, wie es Gauß vorgeschrieben hat, sehr groß gewählt werden; das aber bei so kleinen Werthen dieser Entfernungen, wie sie von Piotrowski und ich genommen haben, die Abweichung sich kundgiebt.

Der durch die Vernachlässigung dieses Einflusses der Luft entstehende Fehler der Methode ist indeß gewiß sehr klein, so das er bei nicht sehr feinen Beobachtungen unberücksichtigt bleiben kann. So habe ich geglaubt, ihn für die gegenwärtigen Untersuchungen vernachlässigen zu können, und ich habe deshalb nicht versucht, statt der oben

aus Mittelwerthen hergeleiteten Werthe des Trägheitsmoments meiner beiden Apparate genauere, von diesem Fehler freie aufzufinden, was z. B. durch eine früher angegebene¹⁾ Methode möglich gewesen wäre, nach der zwei Paare Gewichte gleicher Form, aber verschiedener Masse angewandt werden.

1) Pogg. Ann. Bd. 113, S. 208.

(Schluß im nächsten Heft.)

III. *Die schwarzen Linien und Ablosungen in den Meteoriten; von Freiherrn von Reichenbach.*

(Fortsetzung von S. 325.)

Zweite Abtheilung.

Mit dem bis hieher Erörterten habe ich den einen und einfachern Fall, in welchem sich die Erscheinung der schwarzen Linien und Zugehör darbietet, auseinandergesetzt. Wenn es damit um alles, was man hieher zu beziehen hat, gethan wäre, so würde die Schwierigkeit unerheblich seyn, welche derlei Vorkommniß in den Meteorsteinen uns darbietet. Dem ist aber bei weitem nicht so. Das Verhandelte umfaßt nur einen kleineren Theil, nur die einfachere Form der schwarzen Linien, die wir auf den Meteoriten vorfinden. Unzählige ähnliche, aber in keiner Weise gleiche Vorkommnisse durchstreichen diese, die man nicht auf die auseinandergesetzte Weise ableiten und unmöglich aus Rissen erklären kann, die während des Durchganges der Meteoriten durch die Luft erzeugt worden wären. Wir sehen uns damit zurückgeführt auf die Muthmaßung, welche ich im 108. Bande dies. Ann. ausgesprochen habe, die nämlich: daß die schwarzen Linien ganz verschiedene Grundursachen haben könnten. Ich will es versuchen, die

vielen Thatsachen, die ich hierüber gesammelt habe, in geordneter Reihe vorzuführen.

A. Den Anfang mache ich mit dem einfachsten Steinmeteoriten den wir haben, mit dem von *Langres* (Chassigny). Er besteht aus nichts als aus Olivin und etwas feineingesprengten Chromeisenstein. In der Sammlung des Herzogs von Luynes sah ich zu *Dampierre* zwei Stückchen, auf denen eine Bruchseite einen schwachen graulichen Anflug hat, den ich sonst nirgends auf anderen Fragmenten von *Langres* vorfand. Er ist schwach und unbestimmt, und man weiß auf den ersten Anblick nicht ihn zu deuten; erst bei Vergleichung mit andern ähnlichen Fällen findet man sich zurecht, wie wir sogleich sehen werden.

Diese Ablosungen bestehen, selbstverständlich, immer aus zwei Handstücken, wie sich beide von einander in der Richtung ihrer Fläche abgelöst haben. Davon findet man jedoch in den Sammlungen in der Regel nur Ein Stück; das andere ist anderswohin in andere Hände gekommen.

Ähnliches habe ich auf einem *Stannern*, ebenfalls zu *Dampierre*, beobachtet. *Stannern* ist sonst überall frei von Ablosungen; um so mehr war ich überrascht, hier auf einem halbfaustgroßen Stücke eine solche zu finden, $1\frac{1}{2}$ Zoll lang und 1 Zoll breit. Sie ist glanzlos, grau, etwas weniger dunkler als der Stein auf dem Bruch, gestreckt und gestreift der Länge nach, rostfrei, und besteht aus einem so dünnen Anfluge von schmutzig trübgrauer Farbe, einen so schwachen Hauche, daß an eine mechanische Absonderung von Substanz auf irgend einer Stelle nicht zu denken, dabei aber die Natur der Ablosung nicht zu verkennen war. Da *Stannern* nach Hrn. G. Rose's neuern Untersuchungen nur sehr wenig freies Eisen enthält, so ist die Erscheinung einer Ablosung auf demselben hier von merkwürdiger Bedeutung. Drei Jahre später gewährte ich ganz dieselbe Erscheinung auf einem *Stannern* in der kais. Sammlung zu Wien. — *Parnallee* bei Hrn. Nevill zu Woodberry bei London und derselbe Meteorit im britischen Museum haben ähnliche Ablosungen. Wie *Stannern* so ist

auch *Parnallee* mit einem feinen Anfluge versehen, der nur wenig sichtbar eine schmutzig grauliche Färbung, aber dabei eine matte jedoch unverkennbare parallele Streifung besitzt. — Ihm folgt *Petersbourgh* im Berliner Universitätsmuseum, wo sie eine eigenthümlich hellgraue Ablosung hat, fast so licht als der Bruch des Steines, ohne Glanz und ebenso ohne Streifung. — Bei *Costarica* in der *Ecole des Mines* zu Paris fand ich schon mehrere Ablosungen; ebenso auf meinem eigenen Exemplare von dieser Lokalität. Einige schneiden sich unter spitzen und stumpfen Winkeln. Sie sind ganz ohne Glanz und sehr hellgrau, lichter als in allen ebenso deutlich ausgesprochenen ähnlichen Fällen, hie und da schon eine einzelne schwache Furebe zeigend.

Langres, *Stannern*, *Parnallee*, *Petersbourgh* und *Costarica* bilden demnach eine kleine Gruppe von fünf, bei welcher die *Ablosungen* nur schwach entwickelt, nur angedeutet, unscheinbar, ohne Glanz, sehr blaß hellgrau und meist nur kaum merklich dunkler sind als der Bruch des Steines, dabei gestreift und deutlich von der Gegenseite sich abgesondert zeigen. Aber sie machen den Anfang der Thatsache von den Ablosungen dieser Art aus.

B. Hieran schließt sich zunächst eine Gruppe von Linien und Ablosungen an, welche etwas deutlicher ausgesprochen ist. Ihre Glieder sind *Grünberg* im Berliner Museum und in meiner Sammlung mit einer matten grau und bräunlich gestreiften Ablosung; *Kuleschofka* im britischen Museum und bei Hrn. Nevill in Woodberry mit braunschwärzlicher und gestreifter Ablosung. — *Honolulu* erscheint bei diesem ebenso. — *Assam* im britischen Museum ziemlich dunkelstreifig. — *Atacama* ebendasselbst, in einem Exemplar mit gelben und in einem noch schönern mit weißen Olivinen, mit vielen theils matten, theils glänzenden Ablosungen. — Dasselbe ebenso im Göttinger Museum und in meiner Sammlung. — *Pallas* im Jardin des Plantes ebenfalls mit matten und daneben glänzenden Ablosungen. — *Doroninsk* in meiner Sammlung mit meist mattgrauen.

Grünberg, *Kuleschofka*, *Honolulu*, *Assam*, *Pallas*, *Ata-*

kama und *Doroninsk* bilden auf gewissen Exemplaren eine zweite Gruppe von sieben mit schwärzlichbraunen, matten Linien und gestreiften Ablösungen ohne Metallschimmer.

C. Nun folgen Meteorsteine, in welchen die Ausfüllungssubstanz der scheinbaren Risse dunkel erdbraun, häufig von der Farbe des Erdkobalts, aber auch in Uebergängen bis zu der des Brauneisensteins, matt, von anfänglichen Linien und Blättern in die Breite geht, bald stellenweise bald in allen Richtungen sich ausdehnt, bald wieder zusammengeht und völlig gangartig bis auf einen Faden, gleich einem Bestege, zusammenschrumpft, um in Kürze sich wieder auszudehnen. Dabei geschieht es denn häufig, daß die dunkle Gangsubstanz in die Gesteinssseiten des Meteorsteins eindringt, sich darin verbreitet, sie mit ihrer dunkeln Farbe imprägnirt, wohl auch mitunter der Substanz nach abändert, ganz wie wir dies in Gangbergwerken vorkommen sehen. Nicht selten kommt es dann vor, daß Gangsubstanz und Steinsubstanz so miteinander sich mengen, daß Grenzen nicht mehr erkennbar, nicht mehr bestimmbar sind, und beide Theile so innig verwachsen, daß man keine für sich mehr unterscheiden kann. Dies sieht man nun in den hier folgenden Meteorsteinen. Einen *Lissa* fand ich im Jardin des Plantes, durch welchen eine schwarze Linie läuft, die scharfbegrenzt und dünn anfängt, dann aber rasch auf einige Linien Dicke anschwillt, nun ebenso schnell wieder dünn wie Papier wird. Dabei ist sie auf den Berührungsflächen rechts und links mehr und minder mit der Steinmasse verwaschen, begrenzt. Ihrem Körper nach ist sie matt, von fast erdigem Ansehen und von der Farbe des Erdkobalts. — Auf *Salles* im Jardin des Plantes sah ich ganz dasselbe stellenweise auf dem dortigen mehrere Pfunde schweren Stücke. — *Agen* in der Ecole des Mines zeigt mitten in der Bruchfläche eine feine schwarze Linie, die sich plötzlich auf drei Linien Dicke aufthut, einen erdkobaltbraunen matten Fleck bildet und gleich darauf wieder zusammengeht. — Im *Göttinger* Museum unter der Aufschrift *America* ein von *Stromeyer* herrührendes nicht

näher bezeichnetes, also unbekanntes Stückchen Meteorstein, dessen Grundmasse weiß ist wie *Bishopville*, enthält eine grauschwarze Masse eingelagert, erdkobaltfarbig, matt, trübe, und ähnlich *Chantonnay*. — *Charsonville* in der Ecole des Mines in Paris zeigt in einem rostfreien Fragmente einen eine Linie dicken erdkobaltbraunen Gang, der mitten durchgeht. Kehrt man den Stein, so sieht man den Gang sich rasch ausbreiten bis auf mehr als einen halben Zoll und so eine matte Ablosung bilden. — Ebenfalls *Charsonville* im Jardin des Plantes zeigt schwarze Linien, die breiter werden, dann sich wieder bis auf Papierdicke zusammenziehen und auf diesem Wege Flecke wie Ablosungen bilden. — Auf einem dritten Exemplare daselbst zeigt es einen drei Linien dicken Gang von erdkobaltigem Aussehen. — Auf einem Fragmente in meiner Sammlung kommt dasselbe vor. — Auf einem andern kleinen Bruchstücke von *Charsonville* im Jardin des Plantes durchzieht ein fast $\frac{1}{2}$ Linie dicker schwarzer Streifen den Stein, geht durch ihn hindurch und kommt auf der Kehrseite wieder auf die Oberfläche, wo er sich nun auf 5 Linien Breite flach ausdehnt, matt und wie dunkler Erdkobalt aussehend. — Das schönste Exemplar von *Charsonville* fand ich im Jardin des Plantes, durch welches eine Menge schwarzer Linien von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Linien Breite ziehen und verschiedene Richtungen nehmen, bald dicker, bald dünner, manche sich wieder bis auf Papierdünne zusammenziehend; viele überhaupt nur papierdick. Hie und da sind sie mit der Steinwand etwas verwachsen und verwaschen, doch minder stark als in den beiden folgenden. — Am stärksten entwickelt ist diese Erscheinung endlich in *Chantonnay*. Von diesem Meteoriten sollte man glauben, daß er aus zwei verschiedenen Meteorsteinen zusammengesetzt sey, einem hellgrauen und einem braunschwarzen. Dem ist aber nicht so. Es ist nur Ein Meteorit, in welchem die Ablosungssubstanz eine ungewöhnlich große Rolle spielt. Wenn ich den Anfang mit einem Fragmente mache, das ich in der Sammlung des Herzogs von Luynes zu Dampierre fand; so begegnete ich

dort nichts anderem, als braunschwarzen matten Linien und Blättern, die den grauen Stein zahlreich in verschiedenen Richtungen durchzogen, aber nirgends ins Breite sich ausdehnten. Anders sah ich dies auf dem größern Stücke in der Ecole des Mines. Hier war der Stein mit einer Menge ebenderselben schwarzbraunen matten Linien durchzogen wie der zu Dampierre; allein hier waren sie nicht mehr gleich dünn und fein, sondern ungleich, manche verdickten sich zu größeren Fäden, manche erlangten die Dicke von Schnüren. Und diese Dicke war ungleich, bald steigend, bald fallend, ihre Richtung hin und her gekrümmt, bisweilen einander durchschneidend und durchsetzend. — Ein schönes Exemplar von *Chantonay* in meiner Sammlung hat dieselben schwarzen Schnüre, allein sie nehmen hier eine große Breite ein; so daß sie jetzt zu ganzen Flecken sich erweitern. — Auf einem Stücke von *Chantonay* im britischen Museum fand ich diese Schnüre stellenweise zu breiten dunkeln Flecken fortgeschrieben. — In der Universitäts-Sammlung zu Göttingen zeigte mir Hr. Wöhler ein Fragment von *Chantonay*, das ziemlich gleichmäßig geschiebt und zwischen Partien von der natürlichen hellbraunen Farbe des Steins und von der der ausgebreiteten schwarzbraunen Schnüre schön getheilt ist. — Ein ähnliches Exemplar von *Chantonay* liegt bei Hrn. Nevill in Woodberry. — In der Ecole des Mines liegen zwei Fragmente, wovon das eine durchaus schwarzbraun nur noch mit einigen hellen runden Fleckchen getiegt, das andere aber in den Gängen schwarzbraun ist. — Ein solches besitze auch ich in meiner Sammlung. — Wir sehen also hiet in *Chantonay* die Ablösungslinien erst auf das feinste als braunschwarze scharfbegrenzte einzelne Linien auftreten; in andern Exemplaren vermehren sie sich, durchkreuzen einander und schwärmen unregelmäßig durch den Stein; weiter gewinnen sie Dicke wie Schnüre, dünne und dicke mengen sich durcheinander; wie sie dicker werden, nehmen sie an Dunkelheit der Farbe ab, ihr Bruch ist matt, nähert sich dem dunkelbraun erdigen; immer weiter gehen sie aus-

einander, immer weiter verbreiten sie sich in dem Steine, sie erlangen fast Handbreite und bemächtigen sich zuletzt des ganzen Meteoriten, mit welchem die Ablosungssubstanz sich so innig mengt, daß man die beiden constituirenden Bestandtheile nicht mehr von einander unterscheiden kann, die zu einem einzigen Steine in einander übergegangen sind. Sehr bemerkenswerth ist alsdann noch hierbei, daß sowohl hier, als in dem folgenden Meteoriten die Menge des metallischen Eisens in den Mengpartien nur etwa halb so groß ist, als in den damit unvermengten Meteorsteintheilen. — Dann gehört zu dieser Gruppe der eigenthümliche Meteorit von *Mainz*, bei Dr. Gergens, dem Entdecker desselben, im kais. Cabinet zu Wien, und in meiner Sammlung. Er zeigt feine, nur kaum erkennbare Linien, schwärmend und auseinanderlaufend. Sie sind mit ihrer Substanz größtentheils aufgegangen im Gesteine, in welches sie sich hineingezogen und mit und neben ihm große rothgelbbraune Massen darstellen, vermöge denen *Mainz* das Mittel zwischen den Erdkobaltbraunen und der folgenden Gruppe ausmacht. — Endlich schließt sich hier noch *Segowli* an, das unmittelbar beim Niederfallen aufgelosen, schon durch seinen ganzen Körper rostbraun befunden wurde.

Die *rostbraune Farbe*, welche die schwarzen Linien in den beiden letztgenannten Meteoriten angenommen, sind eine Erscheinung, die man auf anderen Meteoriten bis jetzt nicht wahrgenommen hat. Sie deuten auf Eisenoxydhydrat. *Mainz* ist auf der Erde gefunden worden, seine Fallzeit unbekannt, und konnte im Regen verrostet seyn; allein wenn sein Eisen diese Veränderung durchlaufen hätte, so würde der Stein haben zerfallen müssen; er ist aber sehr fest und kann keine Verwitterung durchgemacht haben. *Chantonay* aber hat man fallen gesehen und nach wenigen Stunden aufgelosen. Irdisches Wasser konnte also hier kein Eisenoxydhydrat erzeugt haben und meteoritisches Wasser war unbekannt. Während ich aber diese Blätter schreibe entdeckt Hr. Cloëz im Meteoriten von Capland, *Bokke-*

weld, ein wasserhaltiges Silicat. Wenn nun in dem Einen Meteoriten eine Wasserverbindung nachgewiesen ist, so ist eine solche mit Eisenoxyd in Meteoriten von der Farbe von *Mainz* und *Chantonay* wenig mehr zu bezweifeln. Wir sehen also in diesen beiden Meteoriten Fälle, in welchen die Substanz der schwarzen Linien mit Wasser in Verbindung tritt, sich dann mit dem Seitengestein mengt, und demselben die Farbe des Eisenrostes aufdrängt.

Lissa, *Salles*¹⁾, *Agén*, *Stromeyers Amerika*, *Charsonville*, *Chantonay*, *Segowli* und *Mainz* bilden eine dritte Gruppe von acht Meteoriten, in welcher die Linien und Ablosungen ihre größte Ausbildung erlangen.

D. Wenn sich die schwarzen schweifenden Linien ins Gestein versenken, damit auf ihren Seiten verwachsen und verschmelzen, sich unregelmäßig darin ins Breite ausdehnen, sich bald verdünnen, bald verdicken und stellenweise die Gemengtheile umfließen und wie Augen einschließen, so entsteht das Bild von Marmorbeispielen. Solche marmorischen Stellen auf Schliffflächen gewähren *Limerik*, *Aigle*, *Tipperrari*, *Salles*, *Macerata*, *Doroninsk* in meiner Sammlung; *Agén*, *Assam*, *Agra*, *Schalka*, theilweise *Chantacapur* und der Meteorstein von Dr. Sytter aus Ostindien, sämmtlich im britischen Museum; *Aigle* und *Costarica* in der Ecole des Mines zu Paris und in meiner Sammlung; ein größerer und zwei kleinere Steine von *Aigle* im Jardin des Plantes; *Assam* und ein ins Kleine marmorirter *Aigle* im Göttinger Museum; ebendasselbst ein *Heredia* grau in grau; *Dhurmsala* bei Hrn. Nevill und im britischen Museum; *Honolulu* und stellenweise *Salles* im Museum zu Dampierre; *Luponnas* und *Macerata* in der Ecole des Mines zu Paris. Ein schönes Masterstück der Art weist das Berliner Universitäts-Museum und meine Sammlung an *Okniny* auf. — In beiden letzteren und in *Limerik* bilden diese marmorischen Theile

1) In deutschen und englischen Sammlungen heist dieser Fallort *Salés*; in Frankreich fand ich ihn überall *Salles* geschrieben, dem ich auch folgen mußte. Balbi thut dieses Ortes keine Erwähnung.

eine Art von Zonen, welche quær durch die Steine laufen und durch ein etwas dunkleres Grau sich hervorheben. Bei manchen Steinen geht diese Zeichnung ins *Kleeblättrige* über, wo größere Partien der Steine grau und darin scharfhegränzte Flecken von weißerer Farbe, oder umgekehrt in größeren weichen Partien von grauer Farbe vorkommen, so daß die Steine ein scheckiges Aussehen bekommen. Dies zeigt sich in meiner Sammlung auffallend stark bei *Weston*, *Güterlah*, *Luponnas*, *Madaras*, *Chantonnay* und *Blansko*. Einen etwas eigenthümlichen Fall bietet ein schöner *Droninsk* in meiner Sammlung dar, auf welchem hellere und dunklere zusammengesetzte Steine, rundliche und scharfkantige sehr unregelmäßig bräccienhaft durcheinander gemengt sind. *Labasse* in Berlin, besonders aber *Eifel* in Moskau sind schöne Beispiele hiervon.

F. Auf irdischen Mineralien begegnet man sehr häufig der eigenthümlichen Erscheinung von Ablösungen des Gesteins von einander, wobei beide Trennungsflächen mit *parallelen, glatten, oftmals glänzenden Streifen* versehen sind, die nicht selten bis zu *parallelen Furchen* sich steigern. Man erklärt sich dies, obwohl nicht genügend, mit Verrutschungen im Gesteine auf seinen Klüften. Aber wer sollte denken, daß dieselbe Erscheinung, ganz in gleicher Ausbildung, auch auf den Meteoriten vorkommen könnte? Und doch ist, sonderbarer Weise dem in vollem Maße also. Hier können doch keine Verrutschungen als möglich gedacht werden?

Betrachten wir die auffallendsten Fälle, die mir zu Gesicht gekommen. Den Anfang macht *Stannern* auf seinen oben bereits erwähnten granen Ablösungen in Dampierre und im Wiener Cabinet. — *Assam* im britischen Museum zeigt eine Stelle, die eine schwärzliche Ablösung ausmacht, sie ist entlang parallel gestreift. — *Nashville* und *Madaras* in meiner Sammlung ebenso. — *Macerata* ebendasselbst desgleichen. — *Nulles* in meiner Sammlung hat eine Seite mit schwarzbrauner Streifung. — *Agra* im britischen Museum zeigte eine eisenschwimmernde ganze Seite in Streifen.

Solche gestreifte Flecke finden sich stellenweise mit kugelförmlicher Einlagerung. — Ein kleines Stückchen *Ohaba*, ein ähnliches *Wessely*, beide in meiner Sammlung, weisen gestreifte Ablösungsstellen auf; ebenso ein Exemplar von *Blansko* bei mir, und diefs ungewöhnlicher Weise auf einem halbüberwundenen Luftbruche. — *Charkow* im britischen Museum zeigt die Erscheinung schon in grösserer Ausbildung; eine große drei Zoll lange Fläche, schwarzseidenschimmerig, ist größtentheils mit gestreifter Ablösung überdeckt. — *Barbotan*, auf der Mehrzahl der Exemplare die ich in Frankreich und England sah, so wie auf einigen guten Handstücken in meiner Sammlung hat braunschwarze Ablosungen, die theilweise schön parallel gefurcht sind. Diesen folgen *Seres* in meiner Sammlung mit schwarzgestreiften Ablösungen. — *Aigle* in allen europäischen Sammlungen zahlreich repräsentirt, zeigt reichlich gestreifte Bruchflächen; *Tipperary* und *Limerik*, einander im äußern Ansehen so sehr ähnlich, haben beide in meiner Sammlung auf guten Handstücken zahlreiche Ablösungen mit schönen Parallelstreifungen. Bei letzterem im *Jardin des Plantes*, einem Stück von 138 Grm., ist bemerkenswerth, daß die Streifung der Gestrück-Schichtung des Steins parallel sich verhält. — Selbst der schöne weiße *Bishopville* ist wenigstens in den Handstücken meiner Sammlung, nicht frei von schwarzen Ablösungen mit Parallelstreifung; auf den Exemplaren zu London und Berlin habe ich sie nicht gefunden. — Un erwartet könnte man es nennen, daß auch auf *Patlas*, und zwar auf drei grössern Exemplaren in meiner Sammlung solche Ablösungen vorkommen, gestreift aber ohne schwarze Ablösungs-Substanz. — Die Krone aber setzt dieser Erscheinung *Atacama* auf. Es giebt in den europäischen Sammlungen wenige von diesen schönen Chilonen, welche nicht Ablösungen besäßen, auf denen man parallelgefurchte Streifen wahrnehmen kann. Manche besitzen nur eine, wie zwei Exemplare in meiner Sammlung und eins zu *Dampierre*; andere tragen mehrere zur Schau, so ein zweites Exemplar des Herzogs von Luynes; manche sind ganz

von gefurchten Ablosungsflächen eingeschlossen, wie im Universitätsmuseum zu Göttingen; ein überaus schönes großes Stück zielt die Berliner Universitäts-Sammlung, das von gestreiften Ablosungsflächen so eingeschlossen ist, daß es dem Tetraëder in Gestalt nahe kommt; ein Stück im Jardin des Plantes bildet eine Linse von zwei convexen streifigen Ablosungsflächen eingeschlossen.

Ein Prachtstück von 15 bis 16 Pfund im britischen Museum ist nach allen Richtungen von gefurchten Ablosungen durchsetzt; ein Bruchstück über 5 Pfund schwer im kais. Cabinet zu Wien bildet theilweise mittelst seiner gestreiften Ablosungen Fasern auf seinen Außenseiten; endlich liegen in der Ecole des Mines zu Paris zwei Exemplare, wovon das größere zwischen schönen weißen Olivinen reichliche Ablosungsdurchgänge von streifiger Beschaffenheit zeigt. Wir werden des Reichsten auf diese schönen Atacamasen zurückkommen; hier nur soviel davon, daß die auf ihnen erscheinenden Vorkommnisse das Bild der parallelen Streifen auf so vielen Ablosungen vollenden.

G. von den gefurchten Ablosungen zu jenen, bei welchen die Füllungen nicht mehr matt, sondern mit einem gewissen eisengrauen schwachen graphitähnlichen Metallglanze begabt sind, den ich *Eisenschimmer* nennen möchte. Oft ist noch schwarze kohlige Substanz darin vorhanden und nur wenig stellenweise Eisenschimmer; bald sind beide zu anscheinend gleichen Antheilen gemengt; bald gewinnt der Eisenschimmer die Oberhand, endlich herrscht dieser ausschließlich in seiner lichten, zwischen Eisen und Graphit liegenden hellgrauen Farbe.

Ich will hier die Fälle, die uns die Natur bietet, und soweit ich sie selbst genau betrachtet und untersucht habe, mittheilen. — Asazut im britischen Museum besitzt eine kleine schwarze gestreifte Ablosungsstelle, die kaum merkbar, aber doch entschieden eisenschimmerig ist. — *Sigena* im Jardin des Plantes (dort *Sena* genannt) hat zwei parallele Ablosungen, wovon die eine nur stark rostig und grau, die andere rostig und eisenschimmerig ist. Im Wiener

kais. Cabinet eine eisenschimmerige Ablösung. — *Muskingum* in Göttingen hat eine schwarze Linie die durch den ganzen Stein läuft, stellenweise aufgebrochen ist und dann auf fünf Fleckchen dunkelgraue, gestreifte, eisenschimmerige Ablösungen darbietet. Eine sechste Stelle glicher Art und glänzend, kreuzt sich rechtwinklig mit den erstern. — *Obaba* in Göttingen auf dem kleinern dortigen Fragmente hat einige graueisenschimmerige Fleckchen. — *Charsonville* in Dampierre besitzt rechtwinklig auf einander zwei rostige eisenschimmerige Ablösungen. — *Aldsworth* im britischen Museum mit braunschwarzen eisenschimmerigen Ablösungen, auf diese eine dritte rechtwinklig. — *Grünberg* ebendasselbst mit einer eisenschimmerigen Ablösung, mit etwas Rost befleckt. — *Herodia* in Göttingen 3 bis 4 eisenschimmerige Ablösungen. — Ebenso *Gütersloh* im Berliner Museum und in meiner Sammlung. — *Cereseto*, (bezeichnet Piemont) im Jardin des Plantes einen rostigen grauen Eisenschimmer. — *Bishopville* im Berliner Museum zeigt unter vielen grauen matten Streifen und Ablösungen eine, welche unverkennbar wenngleich schwach, Eisenschimmer besitzt. *Atacama* in allen seinen vielen verbreiteten Stücken, zeigt nur in dem großen Prachtstücke davon, welches ich im britischen Museum untersuchte, und zwar neben braunschwarzen fleckweisen Ablösungen, auch eisenschimmerige Stellen, öfters unterbrochen und wieder auftauchend. — *Toulouse*, zwei Fragmente im Jardin des Plantes; auf dem kleinern mehrere graueisenschimmernde Ablösungen, auf dem größern eine graueisenschimmerige Linie durch den ganzen Stein laufend und in Ablösungen übergehend; eine andere rechtwinklig auf dieser stehend. — *Tipperari* in meiner Sammlung mit rechtwinklig aufeinanderstehenden grauen eisenschimmerigen Linien und Ablösungen; ebenso im Jardin des Plantes zwei blank eisenschimmerige, wovon die eine rostig ist. — *Agen* in der Ecole des Mines, im britischen Museum und im Jardin des Plantes besitzt auf allen diesen, sowie auf meinem eignen Stücke schwarzgrau eisenschimmerige Linien und damit verbundene größere und kleinere Ablösungen in un-

zähliger Menge. Ein Stück davon in Göttingen enthält sie nicht; es ist aber dasselbe Exemplar, das ich dort, wie schon oben erwähnt, nicht für *Agen* sondern für *Woldeotage* halten muß. — Auf dem Stücke im Jardin des Plantes sah ich unzählige eisenschimmerige schwarze Linien rechtwinklig auf eine einzelne auflaufen. — *Agra* im britischen Museum hat eine ganze Seite graueisenschimmeriger gestreifter Ablosungen, die sich kreuzen, und herumschwärmende schwarze Linien. — *Cabarras* im britischen Museum weist eine große graueisenschimmerige Ablosungsfläche auf, auf welcher eine Seitenablosung rechtwinklig steht, alles in schönem Eisenschimmer. — *Cereseto* ebendasselbst mit großen und kleinen starkeisenschimmerigen Ablosungen. — *Chantucapur* im britischen Museum mit einer großen, fast ebenen graueisenschimmerigen Ablosung. — *Charkow* im brit. Museum mit großer, starkgestreifter Ablosung; schwarz-eisenschimmerig, dick aufgetragen und zahlreiche schwarze Linien rechtwinklig auf die Ablosungsfläche laufend. — Dr. Sytters Meteorit im britischen Museum ist von zahllosen schwarzen Linien durchschwärmt, welche in eine Menge grauer matter und grauer eisenschimmeriger Ablosungen übergehen und aufs Deutlichste die Identität der Liniensubstanz mit der der Ablosungen darthun. — *Aigle* auf den vielen Fragmenten, welche ich in den europäischen Sammlungen zerstreut fand, zeigt fast überall graue eisenschimmerige gestreifte Ablosungen, die sich in verschiedenen Richtungen begegnen. Im Jardin des Plantes habe ich mehrere Exemplare der Art gesehen; schwarze Linien öffnen sich, indem die eine Wand der Linie abspringt, und zeigt sich gestreifte graueisenschimmerige Ablosung. Ebenso ein Fragment in der Ecole des Mines und im Göttinger Museum. — *Barbotan*, ebenso verbreitet in den Museen, hat im Jardin des Plantes ein Exemplar, mit einfach eisenschimmerigen gestreiften Ablosungen, ein anderes worauf eine schwarze Linie oder Blatt auf der einen Seite im Steine untertaucht, auf der andern als graue eisenschimmerige Ablosung wieder auftaucht; in der Ecole des Mines

ein Exemplar mit einer kleinen graueisenschimmerigen Ablösung; ein zweites mit eisenschimmerigen Ablösungen und darauf rechtwinklig schwarze Linien gestellt; beim Herzog von Luynes zu Dampierre ein Stück mit drei rostigmatten und drei gestreiften graueisenschimmerigen Ablösungen; im Göttinger Universitäts-Museum mit vielen eisenschimmerigen Linien und sich daraus entfaltenden Ablösungen; im Berliner Universitäts-Museum eine Ablösung mit vielen schwarzen Linien. — *Limerik* im Jardin des Plantes fünf eisenschimmerige gestreifte Ablösungen nach allen Richtungen; im britischen Museum graueisenschimmerige Ablösungen; in Göttingen drei eisenschimmerig glänzende, wovon die eine gebogen und gewunden, und eine vierte rechtwinklig auf diese geführt ist; zu Woodberry bei Hrn. Nevill ein Exemplar mit sieben graueisenschimmerigen Ablösungen zwischen vielen schwarzen Linien. Ein gutes Exemplar in meiner Sammlung ist reich an eisenschimmerigen Linien und damit zusammenhängenden Ablösungen. *Doroninsk* in meiner Sammlung zeigt an mehreren Stellen schwarze Tafeln, in denen Risse sich fortgezogen haben; auf ihnen sind mehrfältige Eisenschimmerfleckchen sichtbar. — *Okminy* in Berlin und in meiner Sammlung besitzt untermengt mattschwarze und eisenschimmernde Ablösungen. — *Macao* in Berlin, bei Hrn. Neumann in Prag und im Wiener Cabinet, schwarze und eisenschimmerige untermengt. — *Blansko* in meiner Sammlung auf einer abgestumpften Ecke. — *Lucé* und *Ohaba*, ebenfalls in meiner Sammlung. — *Duruma* in der akademischen Sammlung zu München auf einer großen Ablösung. — *Garz* in Berlin, *Kakowa* in Wien, *Madaras* bei mir; *Politz* und *Saltz* in Berlin, *Lizna* zu Dampierre drei graueisenschimmernde Ablösungen; zu Göttingen eine solche Ablösung, die eine ganze Seite des Steines im Zusammenhange einnimmt, so reichlich, daß sie zu Analysen der Substanz Stoff gewähren würde; zu Berlin wo mehrere kleine Exemplare reichlich mit dunkler eisenschimmeriger Ablösung versehen sind, deren vier den einen der Steine ganz einschließen und auf den Kanten

sich scharf schneiden. — Dasselbe in meiner Sammlung. — *Salles* bei Hrn. Nevill zu Woodberry unter vielen undeutlichen einige deutliche schwarze Linien und eine ganze Seite mit schwachen eisenschimmerigen Ablosungen bedeckt. Im britischen Museum sah ich die Rinde gedoppelt übereinander gelagert, wovon die obere schaumige von der untern dichteren abspringt; diese geht dann auf dem Bruche in zwei große, graue, glänzende, reineisenschimmerige Ablosungen ohne Rost über, die mit vielen gekrümmten schwarzen Linien zusammenhängen. In der Ecole des Mines neben feinen grauschwarzen Linien eine feine, schwach ausgeprägte, graue, wenig eisenschimmerige Ablosung. Ein Aehnliches im kais. Cabinet in Wien. — Im Jardin des Plantes eine große graue eisenschimmerige und auf einem andern, etwa 4 Pfund schweren Exemplare, dem Hauptstücke dieses Fallortes, eine große, $2\frac{1}{2}$ Zoll breite, graue, eisenschimmerige Ablosung, daneben mehrere kleinere, zwei davon unter rechten Winkeln sich schneidend, alles schön gestreift und metallblank. — Endlich kam während meines Aufenthalts in London aus Ostindien der schöne große Meteorstein von *Dhurnsala* im britischen Museum an, der in Beziehung auf Ablosungen das Aeußerste leistet. Er ist nämlich 15 Zoll lang und 8 Zoll breit, so ganz und gar mit Ablosungen aller Größe, Richtung, Biegung, Dichte Streifung und Eisenschimmer überzogen, daß er so zu sagen ganz daraus besteht, ja daß man wortgenau sagen kann, man könne vor lauter Ablosungen die Grundmasse des Steines nur mit einiger Aufmerksamkeit auffinden und erkennen. Sie stehen an den Seiten senkrecht auf denen der größten Flächen, stützen sie ab, und geben dem ganzen Steine ein beinahe flasriges Ansehen.

H. Wir langten nun bei der letzten hierher gehörigen Erscheinung an, nämlich bei der Ausbildung der Linien und Ablosungen von Eisenschimmer zu zusammenhängender fester metallischer Substanz von geringerer oder größerer Festigkeit. Ich sah an *Charkow* im britischen Museum eine stark eisenschimmerige Ablosung und da ich darin mehrere

dentliche Blättchen gewährte, so löste ich eins mit der Messerspitze ab. Als es frei war, hing es sich hartnäckig an die Spitze des Messers an und wollte durch Klopfen nicht abfallen. Bei Prüfung des Messers ergab sich, daß die Spitze magnetisch war. Das kleine Plättchen war also nichts anderes, als wirkliches metallisches Eisen. — Von Dr. Sytters Meteorstein im britischen Museum, voll eisen-schimmeriger Ablösungen, habe ich aus einer solchen ein vollständiges metallisches Eisenblättchen herausgesondert. — *Lizza* im Berliner Museum bildet seine Kanten aus den Durchschnittslinien je zweier von seinen eisen-schimmerigen Ablösungen, und zwar stellenweise unter so spitzigen Winkeln, daß eine scharfe Schneide daraus entsteht. Eine solche versuchte ich mit meinem Messer, das guten Stahl hat. Aber während ich der Kante etwas von ihrer Schärfe abgewann, hatte ich auch schon Scharten in der Messerklinge. Was ich abbrachte, war feinkörnige, graue, blättrige, metallische Substanz; dem Anschen und den Umständen nach mußte ich es für metallisches Eisen halten, das legirt war muthmaßlich mit Graphit. Der Körper war so hart, daß er meinem Messer die Schneide raubte, und so spröde, daß er unter seinem Drucke sich bröckelte; der Bruch war feinkörnig. — Auf *Weston* im britischen Museum fand ich auf einem wallnufs-großen Exemplare ein ebenes Fleckchen von Gediogeneisen, dünn wie feines Eisenblech blosliegend. — *Aigle*, im Jardin des Plantes, besitzt einige schwarze Linien. In der Ebene von einer derselben ist der Stein gebrochen und hat da eine schwarze rostbraune Ablösung aufgedeckt, auf welcher Eisen in Lamellenform blosliegt. — *Agas* machte auch hier wieder seine Bedeutung geltend. Ein Exemplar im Jardin des Plantes, reich an schwarzen Linien, bricht in der Richtung einer derselben entzwei und deckt eine Ablösung auf, welche an die Stelle des Eisenschimmers ein reines dünnes Eisenblättchen von mehr als einem halben Quadratzoll Fläche bloslegt. Bei weiterem Nachforschen fand ich noch ein zweites, bald ein drittes Eisenblättchen vor, und es wird nicht fehlen.

daß man bei längerem Nachsuchen noch manche finden wird. In *Charkow* im britischen Museum, auf einem Exemplar von 17 Unzen fand ich Ablösungen mit Eisenplättchen, die, als ich sie löslöste, an der Spitze meines Messers hängen blieben; die Spitze war magnetisch — Sogar einen *Pallas* fand ich auf, der acht geschichtete Blätter besitzt; die parallel sind wie beim folgenden *Schönenberg*, von welchen ich am Ausgehenden Eisenblättchen heraus präpariren konnte. Dieses merkwürdige Exemplar von *Pallas* liegt im Jardin des Plantes. Am *Schönenberg* in der Sammlung der Akademie zu München habe ich das Schönste gesehen, was wir in dieser Richtung bisjetzt besitzen. Ich fand bei einiger Prüfung mit dem Messer, daß der Stein von mehreren großen feinen Eisenplatten mitten durchsetzt ist, im Kleinen so, wie ein Gang im Großen unserer Gebirge. Das Metall war sehr hart, wie bekanntlich, alles meteoritische Eisen, so sehr, daß es Scharfen in die scharfe Stahlklinge meines Messers machte. Gleichwohl konnte ich mit Leichtigkeit kleine Lamellen von feinem Eisenbleche da und dort ablösen und mich der schönen und klaren Entwicklung freuen, mit welcher die Erscheinung der Ablösungen sich hier gipfelt und die vielen und mühsamen Untersuchungen darüber lohnt. Dieser Stein war es, an welchem ich zum ersten Male die Eisenblättchen gewahr ward.

Z. Sofort fehlen diese Erscheinungen, die in den Steinmeteoriten eine so durchgreifende Rolle spielen, auch in den Eienmeteoriten nicht gänzlich. Da besitze ich ein Stück *Arwa*, das fast von selbst in zwei Stücke zerfiel vermöge einer Ablösung, die sie trennte. — Ein schöner *Tazewell* in meiner Sammlung hat eine natürliche ebene Seitenfläche, die eine Ablösung vom Gegenstücke bildet. — In meinem Exemplare von *Karthago* in meiner Sammlung finden sich Durchgänge, in die der Stahl eindringt und die Theilstücke auseinander treibt. Im Wiener *Hofcabinet* liegt ein *Caille*, durch den quer hindurch eine ebenflächige Ablösung läuft, die in nicht gar langer Zeit das schöne Stück in zwei Fragmente zerfallen wird. Doch habe ich an dem

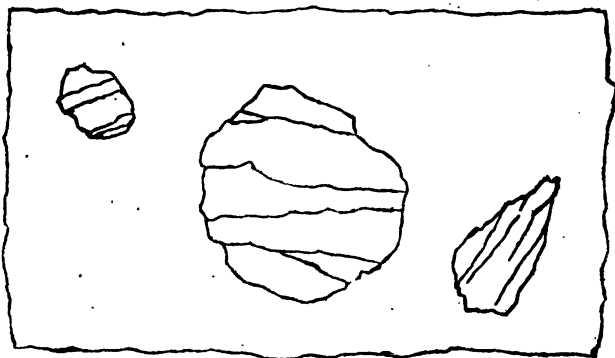
kolossalen Hauptstück desselben in Paris nicht, ähnliches wahrnehmen können. — Im Göttinger Museum liegt ein *Eldagen* und ein *Nebraska*, beide mit Ablösungen versehen. Am auffallendsten zeigt diese *Nelson*, in drei Exemplaren in meiner Sammlung, und an andern im britischen Museum, im berliner Museum und bei Hrn. Nevill in Woodberry. — Dann finden sich in meiner Sammlung auf den Meteoriten von *Razgata*, *Seeloesen*, *Zacatecas*, *Schweta*, *Bahamilita*, *Marshall* und *Sanepta* mehr und minder ausgesprochene Ablösungen, auf denen sich die Eismasse auseinander giebt. Wir haben also hier 14 Fälle von freiwilligen Ablösungen in Eisen. — Immerhin bleibt es noch schwer, über die Natur dieser Ablösungen in Eisenmeteoriten klar zu werden, da sie größtentheils mit Rost ausgekleidet sind, von der ursprünglichen Trennungssubstanz nichts reines mehr enthalten, und ein bestimmtes, durch sichere Thatsaehen belegtes Urtheil in ihrem dermaligen Zustand nicht mehr zulassen. Es bleibt also nur ein Schluss nach Analogie übrig, und dieser führt allerdings dahin, daß diese Durchgänge durch die Eisenmassen vermöge ihres häufigen Vorkommens, ihrer bald gekrümmten, bald geradlinigen Richtung, ihrer geringen Dicke, ihrer Flächenausdehnung, ihrer dunkeln, leider überall mit Rost stark vermengten, Ausfüllung, in den Eisenmeteoriten die Parallel-Erscheinung von der in den Steinmeteoriten repräsentiren,

K. Nunmehr muß die entscheidende Thatfache ihren Platz finden, die ich auf dem Meteoriten von *Dhumsala* im britischen Museum gewahr wurde. Schon in der XIII dieser Abhandlungen¹⁾ habe ich mikroskopische Zeichnung von kleinen Einschlüssen in Meteorsteinen geliefert. Darunter zeigt eine Anzahl entschieden geschichteten Bestand. Die Schichtungsrichtung der verschiedenen Enclaven hat weder unter sich, noch mit der des Hauptmeteoriten irgend welchen Parallelismus; sondern jede zeigt sich eigen und selbstständig geschichtet, in ganz widersinnigen Richtungen gegen einander. Auf der dortigen Kupfertafel ist dies am

1) *Diogenes* Ann. Bd. CXI, S. 363.

deutlichsten ersichtlich in den Meteoriten von *Stannern* Fig. 23, *Backmut* Fig. 26, *Renard* Fig. 27, *Zaborschisa* Fig. 28, *Czartoryia* Fig. 29, *Yorkshire* Fig. 30, *Mauerkirchen* Fig. 32. In die constituirende Masse der Meteoriten sind demnach unzählige kleine Meteoritchen aufgenommen und zu einer Art von Breccie zusammengekittet, die in ihrer Vereinigung den Hauptmeteoriten ausmachen. Da nun das Eingeschlossene hier immer älter seyn muß, als das Einschließende, so müssen die kleinen Einschlüsse bei den Meteoriten auch älter seyn als die Hauptmeteoriten; sie müssen von einer ältern Bildungsperiode herkommen, als diese. Wem dies ja zweifelhaft scheinen könnte, der darf nur einen Blick in die Gruppe von Meteoriten werfen, die ich in meiner Classification die Mässinggruppe genannt habe (Ann. Bd. 107, S. 135). Dort findet er in den Meteorsteinen von *Loutalax*, *Bialystok*, *Nobleborough*, *Mässing* die verschiedenartigsten Gebilde aggregirt; vor allem aber verweise ich ihn auf zwei Siemesen in der Berliner Universitätssammlung, wo von den heterogensten ursprünglich selbstständigen Gebilden große schwarze Fragmente in die weiße Grundmasse eingeknetet erscheinen. Wie wir nun in diesen enclavirten Gebilden schon die Opposition der Gemengtheile dem Gesetze der Schichtung im Sinne des Gestrückes (Ann. Bd. 108, S. 291) untergeordnet sehen, so erhalten wir jetzt einen correspondirenden Fall für unsere schwarzen Linien in *Dhurmala* im britischen Museum, ausgezeichnet reich an ungewöhnlich großen Einschlüssen, die sich mitunter fast zu Wallnufsgröße erheben. Unter diesen Einschlüssen nun habe ich mehrere gefunden, welche schwarze Linien für sich enthalten, quer sie durchsetzend, ihnen ausschließlichs angehörig, nicht in den Hauptmeteoriten fortlaufend und ohne alle Verbindung mit diesem; es sind schwarze Linien der Einschlüsse, blos in diesen Einschlüssen vorhanden, gänzlich Fremdlinge im Hauptmeteoriten, und ohne allen Zusammenhang mit dem Gefüge desselben. Eine kleine Zeichnung wird dies deutlicher machen, als alle schwerverständliche Beschreibung. Der leere

Raum bezeichnet den Grund des Hauptmeteoriten, die Figuren darin die Einschlüsse mit ihren schwarzen Linien.



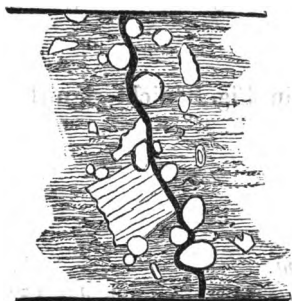
Wir erhalten also hier schwarze Linien und Ablosungen, welche in Enclaven enthalten sind und den Hauptmeteoriten in ihrem Ursprunge nichts angehen. Sie haben sich gebildet zur Zeit, als die jetzige Enclave noch nicht enclavirt, sondern ein freier, für sich bestehender, im Weltall selbstständig kreisender, kleiner Meteorit war. In dieser Periode seiner Existenz hat er dieselben schwarzen Linien oder Tafeln in periodischer Auflagerung erhalten, ganz ebenso wie alle andern Meteoriten auch. Als er sich später einem größern Meteoriten anschloß, wurde er sammt seinen schwarzen Linien von diesem aufgenommen, ihm einverleibt, sofort bei fortschreitender Vergrößerung des Letztern in seine Masse eingehüllt, und damit von der Außenwelt hermetisch abgeschlossen. Hier dienen die schwarzen Linien in der Weise, wie sie in kleineren Meteoriten befindlich, in größern eingeschlossen erscheinen, als Bürgen der einstigen Selbstständigkeit der kleinen Enclaven und als Zeugen ihrer frühern Individualität. Ihr Vorkommen ist in diesem Betrachte von dem größten Interesse für die Theorie der Meteoriten überhaupt. — Wenn nun ein solch großer Stein mit seinen hunderten von enclavirten Steinchen durch die Erdatmosphäre eilt, so wird von der dadurch erzeugten Hitze wohl die Außenfläche desselben af-

führt, nicht aber, wie die Erfahrung lehrt, sein Inneres. Die schwarzen Linien der Einschlüsse bleiben also intact und unverändert. Wofür sie nun nicht zufällig von Rissen betroffen werden, von denen wir hier abstrahiren, so kommen diese enclavirten schwarzen Linien unversehrt zu unsern Händen, und leisten uns nun den Dienst, den wichtigen Beweis von einer frühern Herkunft zu liefern, die nichts mit den stäten tellurischen Hergängen in der Erdatmosphäre zu thun hat; mit einem Worte, den *Beweis von der kosmischen Entstehung und Herkunft dieser Art von schwarzen Linien und Blättern herzustellen*. Sie sind viel älter als die schwarzen Linien der ersten Abtheilung dieser Abhandlung, welche sich spät erst von der Einwirkung der Luft ableiten. Sie sind keine Schmelzungsrudder, sondern sie sind uranfängliche Bildungselemente.

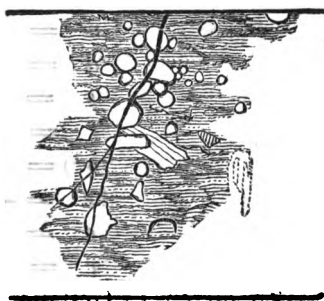
L. Endlich habe ich noch zurückzukommen auf das oben S. 324 berührte Moment, nämlich die *Art des Weges*, den die schwarzen Linien und Tafeln durch die Meteoriten hindurch nehmen. Dort habe ich gezeigt, daß die von Bruch und Riss herrührenden und mit Rindensubstanz ausgefüllten Linien, indem sie den Stein durchsetzen, auch die kleinen enclavirten Meteoriten, die ihnen auf dem Wege lagen, brachen und durch sie hindurch ließen; dieß sind die tellurischen schwarzen Linien. Hier aber wo wir von kosmischen reden, verhält sich dieß ganz anders; diese sind nicht durch den Bruch entstanden, sondern sie leiten sich hier von Auflagerung schwärzlicher Substanz. Hier können also keine Enclaven zerbrochen worden seyn, auf dem Wege können sie nicht durch Trümmer gehen. Sie sind auf beiden Seiten nur angelagert an die Substanz des Meteoriten, durch welche sie sich neben Enclaven jeder Art hindurch schlängeln, niemals sie durchbrechen.

Daraus leitet sich dann ein Hauptmerkmal für den Unterschied der beiderlei schwarzen Linien ab: *Die kosmischen Linien gehen ohne Verletzung an den Einschlüssen vorbei, die tellurischen brechen sie entzwei.*

Eine Skizze davon wird den Unterschied deutlich machen:



Kosmische Linie.



Tellurische Linie.

(Schluß im nächsten Heft.)

IV. *Beitrag zur Kenntniss des Miargyrits; von Albin Weisbach in Freiberg.*

I. Historisches.

Nachdem zuerst Mohs im Jahr 1824 den Miargyrit als selbstständige Specie unter dem Namen »hemiprismatische Rubinblende« in seinem Grundriß der Mineralogie aufstellt und den allgemeinen krystallographischen Charakter des Minerals bestimmt hatte, wurden Krystalle derselben 1829 von Naumann in diesen Annalen Bd. 17 genauer beschrieben und dort von dem genannten Forscher drei Combinationen abgebildet, welche ich mir hier in der in dem Folgenden angenommenen Stellung wiederzugeben erlaube, siehe Fig. 6, 7 und 8 Taf. III.

Wenn wir in diesen Figuren *g* zum primären vorderen Hemidoma und *a* zum basischen Flächenpaar wählen, so wird nach Transformation der Naumann'schen Angaben:

$$\begin{aligned}
o &= \alpha P \infty \\
p &= \alpha P_2 \\
n &= \frac{3}{4} P \infty \text{ (in Fig. 7 nicht signirt)} \\
m &= \frac{1}{4} P \infty \\
d &= \frac{3}{4} P \\
s &= \frac{3}{4} P \frac{1}{2} \text{ (in Fig. 8 nicht signirt)} \\
f &= \frac{9}{11} P \frac{1}{2} \\
\sigma^1) &= 2 P \frac{1}{2} \\
!e &= -\frac{3}{4} P \frac{1}{2} \\
o &= 3 P \infty \\
r &= 3m P \frac{1}{2} m.
\end{aligned}$$

Zu diesen 14 Gestalten sind von Miller nach der 1852 erschienenen Ausgabe von Phillips's Mineralogie weitere 15 neue Formen hinzugefügt worden, für welche, auf das von mir gewählte Axensystem bezogen, sich folgende Formeln herausstellen:

$$\begin{aligned}
m &= P \frac{1}{2} & x &= 3 P \frac{1}{2} \\
t &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} & y &= -P \frac{1}{2} \\
\varrho &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} & F &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} \\
h &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} & o &= P \\
l &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} & k &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} \\
q &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} & z &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} \\
\zeta &= \frac{1}{12} P \frac{1}{2} & E &= \frac{1}{4} P \frac{1}{2} \\
& & R &= \alpha P \infty
\end{aligned}$$

wozu bemerkt werden mag, daß Miller statt der von mir hier angenommenen Signatur-Buchstaben *F*, *E*, *R* und *o* die Zeichen *f*, *e*, *b* und *r* setzt, welche Zeichen aber bereits von Naumann für andere Gestalten verwendet waren.

II. Neue Combinationen.

No. 1. Ein großer Krystall, 1846 zu Bräunsdorf vorgekommen, säulenförmig in der Richtung der Hauptaxe und fast 6 par. Linien lang, zeigt (siehe Fig. 9 Taf. III) außer den Gestalten:

- 1) Dieser Buchstabe möge hiermit zur Bezeichnung der in Naumann's Abhandlung auf Seite 144 Zeile 18 angegebenen, aber nicht signirten Gestalt vorgeschlagen werden.

$$\begin{array}{ll}
g = \alpha P & s = \frac{1}{3}P\frac{1}{2} \\
o = \alpha P \infty & t = \frac{1}{3}P\frac{1}{2} \\
b = P \infty & d = \frac{1}{3}P \\
a = oP & R = \alpha P \infty \text{ (in Spuren)}
\end{array}$$

folgende neue:

$$\begin{array}{ll}
\alpha = -2P\frac{1}{2} & \lambda = \frac{1}{3}P \infty \\
\pi = \alpha P\frac{1}{2} & \chi = \frac{13}{15}P\frac{1}{2} \\
\beta = P \infty
\end{array}$$

von welchen Formen die beiden letzten rücksichtlich ihrer Ableitungswerthe, wegen schlechter Spiegelung der Flächen, nur approximativ bestimmt werden konnten.

No. 2. Ein kleiner, höchst ausgezeichneter, ringsum ausgebildeter Krystall von Bräunsdorf, den Breithaupt vor ungefähr 30 Jahren von der Grube selbst mitbrachte, tafelförmig durch Vorherrschen der Basis a und in der Richtung der Orthodiagonale $2\frac{1}{2}$ Linie messend, erscheint aus folgenden Gestalten (Fig. 10 Taf. III) combinirt:

$$\begin{array}{ll}
a = oP & R = \alpha P \infty \\
g = \alpha P & \psi = -sP\frac{1}{2} \text{ (neu)} \\
o = \alpha P \infty & \text{(in der Zone } bg \text{ liegend)} \\
b = P \infty & \mu = \frac{7}{8}P \infty \text{ (neu)} \\
\delta = \frac{13}{17}P\frac{13}{12} \text{ (neu)}^1 & \varphi = \frac{4}{3}P\frac{1}{2} \text{ (neu)}
\end{array}$$

sowie in Spuren

$$m = \frac{1}{3}P \infty \text{ (in der Figur nicht angegeben)}$$

und $t = \frac{1}{3}P\frac{1}{2}$ (in Fig. 10 nicht signirt).

Hierbei mag nicht unerwähnt bleiben, daß ein Krystall von ganz gleicher Form, aber bedeutenderer Größe auf einem Stück (No. 2a) aufsitzt, welches der hiesigen Revierversammlung gehört; vielleicht hat er dieselben Winkel wie der eben beschriebene (siehe unten).

No. 3. Ein kleiner Krystall von Bräunsdorf, 1863 auf dem hangenden Trum des Neue-Hoffnung-Stehenden vorgekommen, tafelförmig durch Vorherrschen des Orthopina-

1) δ fällt nicht, wie ich mich auf das Bestimmteste überzeugt habe, in die Zone ag , ist also nicht mit der Naumann'schen Gestalt d identisch.

kold's (o), $1\frac{1}{2}$ Linien lang in der Richtung der Hauptaxe, mit folgenden Gestalten (siehe Fig. 11 Taf. III):

$$\begin{array}{ll} o = \infty P \infty & \alpha = -2P\frac{1}{2} \text{ (neu)} \\ a = oP & s = \frac{1}{2}P\frac{1}{2} \\ b = P\infty & d = \frac{1}{2}P \\ m = \frac{1}{2}P\infty \text{ (in der Figur)} & F = \frac{1}{2}P\frac{1}{2} \\ g = \infty P \text{ nicht signirt} & \eta = \frac{1}{2}P2 \text{ (neu)} \\ \pi = \alpha P\frac{1}{2} \text{ (neu)} & \end{array}$$

No. 4. Ein Krystall mittlerer Gröfse (die Kante bF misst $2\frac{1}{2}$ Linie), 1816 zu Braunsdorf vorgekommen, von eigenthümlichem Habitus, erinnernd an den in Fig. 8 Taf. III dargestellten, von Naumann angegebenen. Er zeigt Fig. 12.

$$\begin{array}{ll} b = P\infty & c = sP\infty \\ a = oP & t = \frac{1}{2}P\frac{1}{2} \text{ (in Fig. nicht signirt)} \\ o = \alpha P\infty & s = \frac{1}{2}P\frac{1}{2} \\ g = \alpha P & F = \frac{1}{2}P\frac{1}{2} \\ R = \alpha P\infty & \end{array}$$

No. 5. Ein kleiner Krystall von Parenos in Mexico, tafelartig durch Vorherrschen der Basis (a) und in der Richtung der Orthodiagonale $1\frac{1}{2}$ Linie ausgedehnt. Siehe Figur 13 Taf. III, welche die Gestalten erkennen läßt:

$$\begin{array}{ll} a = oP & d = \frac{1}{2}P \\ b = P\infty & s = \frac{1}{2}P\frac{1}{2} \\ F = \frac{1}{2}P2 & \xi = -2P\frac{1}{2} \text{ (neu, in der Zone } as \text{ liegend, in der Figur nicht signirt).} \end{array}$$

No. 6. Zwei Krystalle von Potosi, tafelartig durch Vorherrschen des Orthopinakoid's (o), nur an einem Pole ausgebildet und $1\frac{1}{2}$ Linie lang in der Richtung der Hauptaxe.

Der eine (No. 6a) zeigt, siehe Fig. 14 Taf. III:

$$\begin{array}{ll} o = \infty P \infty \\ g = \infty P \\ \alpha = -2P\frac{1}{2} \text{ (neu)} \\ a = oP \\ b = P\infty \end{array}$$

Der andere No. 6b), siehe Fig. 15 Taf. III:

$$\begin{array}{ll}
 o = \infty P \infty & b = P \infty \\
 g = \infty P & d = \frac{1}{2} P \\
 R = x P \infty & \beta = P \infty \text{ (neu)} \\
 a = o P & t = \frac{1}{2} P \frac{1}{2} \\
 & c = s P \infty
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} o = \infty P \infty \\ g = \infty P \\ R = x P \infty \\ a = o P \end{array}} \right\} \text{ in der Figur nicht angegeben.}$$

Die im Vorstehenden beschriebenen Miargyrit-Krystalle gehören der mineralogischen Sammlung der hiesigen Berg-academie, in welcher sich auſser vielen anderen minder deutlichen noch folgende drei besonders bemerkenswerthe, von Braunsdorf stammende, befinden. Der eine (No. 7) 1829 zu Braunsdorf vorgekommen, stellt eine in der Richtung der Orthodiagonale ausgedehnte, von dem ziemlich gleich stark entwickelten Flächen c, o, a, m gebildete achtsseitige Säule dar, welche nicht weniger als $6\frac{1}{2}$ Linien lang und 3 Linien dick ist; diese Säule liegt mit der einen Fläche des Orthopinakoids o auf Quarz auf und zeigt an ihren Enden auſser g noch mehrere kleine Flächen, die sich aber, da der Krystall auf einem gröſseren Stück aufgewachsen, nicht mit Sicherheit bestimmen lieſsen.

Der zweite (No. 8) der vorhin erwähnten drei Krystalle sitzt gleichfalls auf einem groſsen Gangstück und hat fast genau den in Fig. 6 Taf. III dargestellten, von Naumann beobachteten Habitus; nur sind zwischen b und c nicht bloſs je eine Fläche d , sondern vier Flächen mit Parallelismus der Combinationskanten vorhanden; die Kante go dieser fast ringsum und sehr regelmäſsig ausgebildeten Krystalle miſst $\frac{1}{2}$ Linien.

Endlich laſt auch der dritte (No. 9) 1828 von Hrn. Bergmeister von Weiſſenbach der Sammlung geschenkte Krystall denselben Typus wie der vorige erkennen; doch erscheint b etwas kleiner, und kommen untergeordnet noch die Gestalten F, s, n und R vor. Der Abstand der Flächen oo beträgt an ihm 3 Linien.

Uebrigens habe ich an den sämtlichen hiesigen Krystallen von den in die Zone ta fallenden Flächen Miller's m, o, h, l, q, ζ, x und y keine auffinden können, trotzdem ich ganz besonders auf dieselben vigilirte; dasselbe gilt von

den Miller'schen Formen *o*, *k*, *s* und *E*, sowie von den Naumann'schen *p*, *r*, *σ* und *e*.

III. Messungen.

Naumann giebt folgende durch directe Messungen erhaltenen Winkel an:

$$oa \quad 131^{\circ} 46' \quad (48^{\circ} 14')$$

$$ba \quad 98 \quad 24 \quad (81 \quad 36)$$

$$am \quad 139 \quad 58 \quad (40 \quad 2)$$

$$ad \quad 109 \quad 16 \quad (70 \quad 34)$$

welche Winkelwerthe von Demselben bis auf ± 5 Minuten genau betrachtet werden.

In Phillips's Mineralogie finden sich diese Naumann'schen Winkel z. Th. wieder, nämlich

$$48^{\circ} 14'; \quad 40^{\circ} 2'; \quad 81^{\circ} 36',$$

von welchen Winkeln aber den beiden ersten unrichtige Signaturbuchstaben beigesetzt sind, wenn man die in den dort gegebenen Figuren 220 und 221 gebrauchte Signatur zum Anhalten nimmt. Es scheint vom Autor übersehen worden zu seyn, daß die Naumann'sche Fläche *b* den Buchstaben *a*, und die Naumann'sche Fläche *a* den Buchstaben *c* bekommen hatte, und es muß in Berücksichtigung dessen in jenem Werke heißen

$$oc' \quad 48^{\circ} 14'$$

$$ic \quad 40^{\circ} 2'$$

$$oa \quad 50^{\circ} 10'.$$

Es dürfte vielleicht hierin der Grund zu suchen seyn, warum die in Phillip's Mineralogie angegebenen Winkel *gg*, *pp*, *dd*, von den Winkeln der gleichsignirten Naumann'schen Flächen um eine größere Anzahl von Minuten differiren.

Was die von mir angestellten Messungen betrifft, so diente bei solchen ein Reflexionsgoniometer mit 5zölligen Horizontalkreis, als Visir-Object eine schmale Gasflamme (respective deren zwei), und wurden die bekannten Messungs-Fehler berücksichtigt, insbesondere der Centrirungs-Fehler (Siehe J. Weisbach in Baumgartner's Zeit-

schrift Bd. 9, und Naumann in Pogg. Ann. Bd. 22) sowie der Fehler wegen des Spielraums der Reflexion eliminiert.

Es folgen nun die durch Messung erhaltenen Winkel, denen ich die auf Grund der obigen Naumann'schen Winkel oa , ba , ad berechneten beischreibe.

1. Messungen am Krystall No. 3 (Fig. 11 Taf. III) mit freiem Auge angestellt:

	Gemessen	Berechnet
g, α	$106^{\circ} 41'$	$106^{\circ} 9'$
bF	$148^{\circ} 3'$	$148^{\circ} 38'$
bd	$131^{\circ} 24'$	$135^{\circ} 6'$
bs	$123^{\circ} 30'$	$124^{\circ} 24'$
ba_s	$80^{\circ} 43'$	$80^{\circ} 40'$

von welchen gemessenen Winkeln jeder das Mittel aus vier Einzelmessungen ist und, nach Maafsgabe ihrer Uebereinstimmung sowie der Beschaffenheit der Bilder, als bis auf 3 Minuten richtig zu betrachten seyn dürfte.

Leider konnte weder der prismatische Winkel, noch konnten Winkel zwischen in der Orthodiagonal-Zone liegenden Flächen genau bestimmt werden, da die betreffenden Flächen theils verwaschene theils mehrfache Bilder gaben; z. B. zeigte g drei Bilder von denen das zuerst eingestellte bei weitem am intensivsten erschien und welchen entsprechend man erhielt

	Gemessen.	Berechnet.
g, g	$74^{\circ} 7\frac{1}{2}'$	
g, g	$73^{\circ} 47\frac{1}{4}'$	$73^{\circ} 29'$
g, g	$73^{\circ} 40'$	

Approximativ wurden unter andern Winkeln noch gemessen

	Gemessen.	Berechnet.
$g\pi$	166°	$167^{\circ} 23\frac{1}{2}'$
ηb	$152\frac{1}{4}^{\circ}$	$153^{\circ} 28'$

2. Messungen am Krystall No. 2 (Fig. 12 Taf. III), mit Fernrohr ausgeführt

	Gemessen.	Berechnet.
gg_1	$101^\circ 37\frac{1}{2}'$	$106^\circ 31'$
gg_2	$75^\circ 25'$	$73^\circ 29'$
g_1o	$142^\circ 21'$	$143^\circ 15\frac{1}{2}'$
ag	$123^\circ 32'$	$122^\circ 16''$
ag_1	$123^\circ 29\frac{1}{2}'$	
ab	$98^\circ 31'$	$98^\circ 24'$
ab_1	$81^\circ 23'$	$81^\circ 36'$
$a\delta_1$	$70^\circ 35\frac{1}{2}'$	$71^\circ 2'$
$a\delta_2$	$70^\circ 34\frac{1}{2}'$	
$g\delta_1$	$127^\circ 3'$	$128^\circ 44'$
$g_1\delta_2$	$127^\circ 3'$	

Bei diesen Messungen wurde ebenso wie bei den vorigen das Multiplications Verfahren eingeschlagen und jeder der gegebenen Winkel ist das Mittel aus vier Einzelmessungen. Die Bilder von g_1 , ν_1 , δ_2 waren vollkommen; g zeigte zwei um 2 Minuten von einander entfernte gleich intensive deutliche Flammen; a eine intensive und eine matte 5 Minuten davon abstehende; b_1 und δ_1 ein schmales, b ein breites (etwa 10 Minuten breites) verwaschenes Bild und endlich gab o bei der Messung g_1o ein zur Reflexions-Ebene rechtwinklig liegendes ausgedehntes Spectrum.

Ich halte die angegebenen Winkel $g_1\delta_1$, gg_1 , $a\delta_1$, ag und ag_1 für bis auf eine Minute richtig, und bedauere nur, nicht auch die Winkel ob oder oa haben messen zu können, indem leider o in der Richtung der Orthodiagonale stark gestreift war, weshalb es obiges Spectrum gab, sowie andererseits die Gegenfläche o merklich gekrümmt erschien.

Uebrigens wurde noch gemessen (jedoch nur mit freiem Auge, da die Bilder ihres verwaschenen Ansehens wegen nicht ganz befriedigten)

	Gemessen.	Berechnet.
as_1	$110^\circ 38'$	$110^\circ 19'$
as_2	$69^\circ 33'$	$69^\circ 41'$
as_3	$69^\circ 26'$	

und endlich approximativ

	Gefunden.	Berechnet.
ψa	$126\frac{1}{2}^{\circ}$	$126^{\circ} 38'$
μa	$79\frac{1}{4}^{\circ}$	$81^{\circ} 29'$
$\varphi_1 s_1$	$160\frac{3}{4}^{\circ}$	$160^{\circ} 31'$
ψo	137°	$139^{\circ} 8'$

3. Messungen an einem Krystall - Bruchstücke von Braünsdorf, welches sehr gut spiegelnde, einfache Bilder gebende Flächen besaß; mit Fernrohr angestellt:

	Gefunden.	Berechnet.
ob	$129^{\circ} 49'$	$129^{\circ} 50'$
oa	$131^{\circ} 35'$	$131^{\circ} 46'$
ba	$98^{\circ} 37'$	$98^{\circ} 24'$

4. Näherungs - Messungen am Krystall No. 1 (siehe Fig. 9 Taf. III):

χb	$168\frac{1}{2}^{\circ}$	$168^{\circ} 17'$
αb	$81\frac{3}{4}^{\circ}$	$80^{\circ} 40'$
$\alpha \alpha$	$139\frac{1}{4}^{\circ}$	$137^{\circ} 52'$
πg	168°	$167^{\circ} 23\frac{1}{2}'$
λa	$154\frac{1}{2}^{\circ}$	$155^{\circ} 50'$
βa	$136\frac{1}{2}^{\circ}$	$136^{\circ} 8'$

5. Messungen am Krystall von Parenos (siehe Fig. 13), mit freiem Auge angestellt

sa	$110^{\circ} 30'$	$110^{\circ} 19'$
da	$109^{\circ} 42'$	$109^{\circ} 16'$

ferner approximativ

ξa	$128\frac{1}{2}^{\circ}$	$128^{\circ} 5'$
---------	--------------------------	------------------

6. Messungen am Krystall No. 6b von Potosi (siehe Fig. 15)

βa	$135\frac{1}{2}^{\circ}$	$136^{\circ} 8'$
-----------	--------------------------	------------------

IV. Berechnung der Fundamental - Dimensionen.

Aus den Naumann'schen Messungen der Winkel oa , ba , ad berechnet sich, die Klinodiagonale b zur Einheit genommen,

die Hauptaxe $a = 1,2883$

die Orthodiagonale $c = 0,9991$

und der Winkel zwischen Hauptaxe und Klinodiagonale

$$C = 48^{\circ} 14',$$

aus welchen Dimensionen folgt: (siehe Fig. 6 Taf. III)

$$gg \quad 106^{\circ} 31'$$

$$ao \quad 131^{\circ} 46'$$

$$bo \quad 129^{\circ} 50'.$$

Was nun die Berechnung meiner Messungen zunächst am Krystalle No. 11 (Fig. 6, Taf. III) anlangt, so habe ich hierzu die oben angegebenen 5 Winkel bF , bd , bs , $b\alpha_3$ und $g_3\alpha$ benutzt, dieselben Winkel nach den Naumann'schen Messungen berechnet und die Differenzen genommen. Diese Differenzen zwischen Messung und Rechnung betragen

bei $g_3\alpha + 32$ Minuten

$$» \quad bF - 35 \quad »$$

$$» \quad bd - 41 \quad »$$

$$» \quad bs - 54 \quad »$$

$$» \quad b\alpha_3 + 3 \quad »$$

Ferner wurden die Veränderungen berechnet, welche eine gewisse (übrigens zu 0,01 angenommene) Veränderung in der Hauptaxe a , in der Orthodiagonale c und in dem Sinus des Winkels C an jenen 5 Winkeln hervorbringen.

Bezeichnet man die Aenderungen, welche in den Naumann'schen Elementen a , c und $\sin C$ vorgenommen werden müssen, damit sie den Messungen am Krystall No. 3 genügen, respective mit da , dc und $d\gamma$, so hat man für diese die 5 Gleichungen

$$2da - 28dc + 41d\gamma = 82$$

$$- 4da + 14dc + 8d\gamma = - 85$$

$$- 6da + 15dc + 12d\gamma = - 41$$

$$- 7da + 14dc + 14d\gamma = - 54$$

$$- 9da - 5dc + 9d\gamma = 3$$

aus welchen 5 Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate folgende drei Bestimmungsgleichungen resultiren

$$19da - 26dc - 20d\gamma = 80$$

$$- 26da + 143dc - 71d\gamma = - 277$$

$$- 20da - 71dc + 217d\gamma = - 19$$

und hieraus als wahrscheinlichste Werthe

$$da = 0,10$$

$$dc = 2,33$$

$$d\gamma = 0,84$$

und demgemäß für den Krystall No. 3 die Fundamental-Dimensionen

$$a = 1,2893$$

$$c = 0,9758$$

$$C = 47^\circ 32'$$

Rechnet man nach diesen Werthen, so verbleiben dann noch zwischen Messung und Rechnung folgende Differenzen;

$$\text{bei } g_s\alpha - 1 \text{ Minute}$$

$$" bF + 5 "$$

$$" bd + 5 "$$

$$" bs - 8 "$$

$$" b\alpha 0 "$$

und man erhält für

$$gg 105^\circ 50'$$

$$ag 132^\circ 28'$$

$$bo 129^\circ 47'$$

Zur Bestimmung der krystallographischen Elemente für Krystall No. 2 (Fig. 10) wurden folgende gemessene Winkel zu Grunde gelegt

$$gg 104^\circ 36'$$

$$ag 123^\circ 31'$$

$$ab 98^\circ 34'$$

$$ad 70^\circ 35'$$

$$gd 127^\circ 3'$$

Aus diesen Winkeln gehen folgende wahrscheinlichsten Werthe der Fundamental-Dimensionen hervor

$$a = 1,2412$$

$$c = 0,9268$$

$$C = 45^\circ 45'$$

denen die Winkel entsprechen

$$gg 104^\circ 36'$$

$$ao 134^\circ 15'$$

$$bo 127^\circ 11'$$

und aus denen sich für die obigen 5 Winkel gg , ag , ab , $a\delta$, $g\delta$ Werthe berechnen, die von den gemessenen höchstens um eine Minute differiren.

Endlich folge noch eine Uebersicht der vorhandenen Messungs-Resultate an den Braünsdorfer Miargyriten:

	Naumann.	Weisbach.		
		Krystall No. 3.	Krystall No. 2.	Krystallbruch- stück.
gg	106° 31'	105° 50'	104° 36'	nicht bestimmt
ao	131° 46'	132° 28'	134° 15'	131° 35'
bo	129° 50'	149° 47'	127° 11'	129° 49'

Auffallen muß hier die nicht unbeträchtliche Verschiedenheit in den Werthen dieser drei Winkel, um so mehr als die gemessenen Krystalle von einem und demselben Fundorte, von einer und derselben Lagerstätte stammen. Jedenfalls ist aus diesen Differenzen zu schließsen, daß die untersuchten vier Krystalle eine nicht ganz gleiche chemische Zusammensetzung besitzen, und man hat es hier ohne Zweifel mit einer Stellvertretung isomorpher Bestandtheile zu thun, sey es nun des basischen, des Schwefelsilbers¹⁾, sey es des aciden, des Schwefelantimons etwa durch Schwefelarsen, dessen Vorhandenseyn nicht befremden würde, da auf den Braünsdorfer Gängen Arsenkies ein ungemein frequentes Mineral ist.

V. Krystallographische Formeln in Bezug auf ein orthoëdrisches Axensystem.

Bezieht man die Gestalten des Miargyrits auf ein rechtwinkliges Axensystem und wählt hierbei die Flächen g zum primären Prisma und die Flächen b zum primären vorderen Hemidoma, so ergeben sich für die folgenden mir durch Antopsie bekannten 23 Formen, unter welchen sich 11 neue befinden, folgende Zeichen:

1) H. Rose fand in dem von ihm untersuchten Miargyrit aus Braünsdorf 1,06 Kupfer und 0,62 Eisen.

$$\begin{aligned}
g &= \infty P & a &= -\frac{15}{14} P \infty \\
o &= \infty P \infty & n &= -\frac{31}{56} P \infty \\
R &= \infty P \infty & \lambda &= -\frac{5}{21} P \infty \\
\pi &= \infty P \frac{1}{2} & \mu &= \frac{64}{35} P \infty \\
b &= +P \infty & m &= -\frac{1}{28} P \infty
\end{aligned}$$

ferner für die in der Zone bc liegenden Flächen

$$\begin{aligned}
a &= -\frac{73}{14} P \frac{73}{281} & \varphi &= \frac{41}{70} P \frac{41}{87} \\
t &= -\frac{1}{28} P \frac{1}{87} & F &= \frac{55}{84} P \frac{55}{87} \\
s &= \frac{18}{42} P \frac{13}{87} & \eta &= \frac{69}{35} P \frac{23}{35} \\
d &= \frac{27}{56} P \frac{9}{29} & \chi &= \frac{193}{224} P \frac{45}{79} \\
\delta &= \frac{61}{116} P \frac{61}{174}
\end{aligned}$$

und endlich noch

$$\begin{aligned}
c &= -\frac{15}{14} P \frac{8}{29} & \xi &= -\frac{78}{14} P \frac{293}{87} \\
\beta &= -\frac{15}{28} P \frac{15}{29} & \psi &= -\frac{51}{7} P \frac{51}{55}
\end{aligned}$$

Diese Ableitungswerthe beziehen sich auf die von Naumann gemessenen Krystalle; für die meinigen stellen sie sich ein wenig einfacher heraus, es wird nämlich

$$\text{für Krystall No. 3 z. B. } a = -\frac{11}{10} P \infty$$

$$\text{für Krystall No. 2 z. B. } a = -\frac{9}{7} P \infty$$

VI. Physikalische Beschaffenheit der Krystallflächen.

Naumann beschreibt in seiner Abhandlung die Flächen folgendermaßen:

d, f, b constant gestreift, parallel ihren Combinations-Kanten

b meist etwas gekrümmt und in den Kanten verzogen,
 r zuweilen fast matt und wie mit einem russigen Ueberzug bedeckt

und ferner an Krystallen vom Habitus der Fig. 6 und 7 Taf. III,

g, o, p gestreift parallel ihren gegenseitigen Combinations-Kanten

m, n gestreift parallel der Orthodiagonale

- dagegen in Krystallen vom Habitus der Fig. 8 Taf. III.
- o* gestreift parallel der Orthodiagonale
 - r* gestreift parallel mit den Combinations-Kanten, die er mit *s* bildet,
- an, welche Beobachtungen ich hiermit die an den mir zur Untersuchung dienenden Krystalle anreihe:
- a* stets, wenn man auch manchmal nur ganz zart, liniirt in der Richtung der Orthodiagonale, mitunter auch concav gekrümmt,
 - o* gestreift parallel der Hauptaxe bei No. 1, 3, 6, 8, 9; parallel der Orthodiagonale bei No. 2, 4; bei No. 7 nicht gestreift, sondern mit eigenthümlichen kartenförmigen Hervorragungen versehen.
 - g* gewöhnlich parallel der Hauptaxe gestreift z. B. in auffallenderer Weise bei No. 1, 6 *a*, 8; bei No. 2 und No. 2 *a* aber ist auf *g* eine nur unter der Lupe erkennbare, zarte Streifung sichtbar, welche mit der Combinations-Kante *g b* parallel läuft.
 - R* von mittlerer oder geringer Intensität des Glanzes und stark gekerbt bei N. 1, 2, 4, 6 *b*, 9 parallel mit der fast horizontalen Kante *R t*,
 - α* mehr oder weniger deutlich gestreift parallel mit der Kante *b c*; übrigens stark glänzend bei No. 3, ganz matt dagegen bei No. 6 *a*,
 - t* ausgezeichnet bisweilen vor den andern in die Zone *b c* fallenden und nach der betreffenden Zonenaxe liniirten Flächen durch Glätte und besonders lebhaften Glanz, so bei No. 1, 4, 6 *b*.
 - c* wenig glänzend bei No. 4; glänzender und gestreift parallel der Kante *b c* bei No. 6 *b* und No. 8.
 - b* gestreift parallel den Kanten *b c*, welche beiden Prüfungs-Richtungen unter einem spitzen Winkel von ungefähr 35° zusammenstoßen und zu Zeichnungen Veranlassung geben, wie sie in Fig. 16 Taf. III dargestellt sind. Ich habe diese Zeichnung an allen von mir berücksichtigten Krystallen (auch an denen von Parenos und Potosi) beobachtet; sie ist also für Miargyrit sehr charakteristisch.

Bei dieser Gelegenheit möge noch die Bemerkung Platz finden, daß diese Zeichnung auch auf den Kenngottit-Krystallen sichtbar ist, welche die academische Sammlung besitzt, woraus wenn auch nicht die Identität des Kenngottit's mit dem Miargyrit, so doch die Isomorphie beider Mineralien hervorgehen dürfte. Der Habitus der hiesigen, übrigens wenig deutlichen Kenngottit-Krystalle ähnelt dem des Miargyrits von Parenos, und sie zeigen *a* vorherrschend, *b*, *s* (?*d*) und *F* (?*f*) untergeordnet, sowie *o* in Spuren. Uebrigens ist das Pulver des Kenngottit's nicht, wie angegeben wird, schwarz, sondern dunkel kirschroth, was wenigstens für die Freiburger Stücke und, einer gefälligen Mittheilung von Schrauf zu Folge, auch für die Wiener Exemplare gilt; es stimmt also in Bezug auf den Strich der Kenngottit mit dem Miargyrit überein.

VII. Spaltbarkeit.

Von Naumann ist unvollkommene Spaltbarkeit nach *m* und *b* bemerkt worden, welche Angabe sich in Phillips's Mineralogie wiederfindet; auch ich habe Spaltbarkeit nach diesen beiden Richtungen zu beobachten Gelegenheit gehabt, außerdem aber eine nicht ganz undeutliche nach *o*.

VIII. Specifisches Gewicht.

Breithaupt giebt in der dritten, 1832 erschienenen Auflage seiner »Charakteristik des Mineralsystems« das specifische Gewicht des Bräunsdorfer Miargyrits zu 5,333 bis 5,340 an; die von mir gefundenen Werthe sind, reducirt auf den thermischen Nullpunkt und den leeren Raum, folgende:

	Mittel.
sächsischer	5,227
(vom Aufsatzstück No. 8)	5,245
spanischer	5,225
	5,236
mexicanischer	5,224
(von Potosi)	5,234
	5,236
	5,230
	5,229.

Außerdem habe ich noch das specifische Gewicht des kleinen Krystals No. 2 (mit dem prismatischen Winkel von $104\frac{1}{2}^{\circ}$) zu bestimmen gesucht; es war indeß behufs Erlangung eines zuverlässigen Resultates sein absolutes Gewicht (er wog 99,8 Milligrm.) zu niedrig. Es wurde erhalten

$$\begin{array}{l} 5,244 \\ 5,184 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 5,244 \\ 5,184 \end{array}} \right\} 5,214.$$

Endlich war auch eine Partie vom Aufsatzstück No. 2a abgebrochen worden, für welche sich ergab

$$\begin{array}{l} 5,232 \\ 5,253 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 5,232 \\ 5,253 \end{array}} \right\} 5,242$$

woraus, bei Annahme der sub II, 2 ausgesprochenen Vermuthung hervorgehen würde, daß mit der oben hervorgehobenen beträchtlicheren Winkel-Verschiedenheit eine merkliche Verschiedenheit im specifischen Gewicht nicht verbunden ist.

IX. Vorkommen.

Schon seit länger als 40 Jahren ist das Vorkommen des Miargyrits zu Braünsdorf bei Freiberg bekannt; er findet sich hier auf den zur edlen Quarz-Formation gehörigen Gängen¹⁾ der jetzt auflässigen Grube Neue Hoffnung Gottes, bisweilen in Begleitung von andern Silbererzen, nämlich von Weifsgültigerz (Silber-Fahlerz), dunklem Rothgültigerz, Feuerblende, Schilfgläserz und gediegen Silber, welche sämmtlich jünger sind (Siehe Breithaupt Paragenesis S. 152).

Erst viel später lernte man ihn durch Breithaupt von der Grube Suerte zu Hiendelaencina bei Guadalajara in Spanien kennen, wo er auf Gängen vorkommt, welche ganz die Zusammensetzung der Braünsdorfer haben (Siehe Leonhard's Jahrbuch 1855). Von diesem Vorkommen besitzt die hiesige Sammlung nur ein Stück, welches den M. derb und in Begleitung von Schwerspath zeigt.

1) Und zwar auf dem Neue-Hoffnung-Stehenden, auf dem Verlorne-Hoffnung-Stehenden und dem Aaron Morgengang.

Ferner wird von Reufs (Sitzungsberichte der Wiener Academie 1857) angegeben, dafs sich im Prager mineralogischen Museum ein Stück mit Miargyrit von Pribram in Böhmen befände.

Zu diesen drei Fundorten kommen nun noch zwei hinzu, welche bisher unbekannt waren und von welchen die Freiburger Sammlung je ein Stück besitzt.

Das erste Stück ist von Parenos in Mexico, und zeigt den M. auf Manganspath aufsitzend; seine Etiquette beweist, dafs es Breithaut bereits 1854 in die Sammlung einordnete. Das zweite Stück stammt ebenfalls aus Mexico und zwar von der Grube *Santa Maria Real de Catorce* bei Potosi; es wurde 1862 von Hrn. A. Lindner, der dort längere Zeit Grubendirector war, acquirirt; der M. sitzt hier auf Braunspath, in welchem Bleiglanz, gelbe Zinkblende und Eisenkies eingesprengt erscheinen.

Endlich würde zu den angeführten fünf Localitäten noch Felsöbanya als sechster Fundort des Miargyrits hinzugefügt werden müssen, falls eine genauere Analyse eine wesentliche Verschiedenheit in der chemischen Zusammensetzung zwischen Kenngottit und Miargyrit nicht ergeben sollte.

Freiberg, den 2. Mai 1865.

**V. Ueber die Krystallform des Albits von dem
Roc-tourné und von Bonhomme in Savoyen
und des Albits im Allgemeinen;
von G. Rose.**

An mehreren Stellen der westlichen Alpen finden sich in einem dolomitischen Kalkstein eingewachsen, Albitkrystalle, die durch ihre Lagerung wie durch ihre Form gleich merkwürdig sind. Sie sind hier schon seit längerer Zeit bekannt; Brochant beschrieb sie schon 1807 in seiner

damals viel Aufsehen machenden Abhandlung *sur les terrains de transition, qui se rencontrent dans la Tarentaise*¹⁾, hielt sie aber den damaligen Kenntnissen gemäß für Feldspathkrystalle. Als solche zeigte er mir die Krystalle von *Bonhomme* am *Montblanc* noch 1824 bei meinem damaligen Aufenthalte in Paris. Die Krystalle sind hier nur klein, zeigen aber doch den charakteristischen einspringenden Winkel der Spaltungsflächen *P* sehr deutlich; sie finden sich in einem sehr dichten Dolomit eingewachsen, der dem lithographischen Kalkstein von Solenhofen sehr ähnlich ist, wie auch *Hessenberg* anführt, der diese Krystalle später beschrieben hat. Bekannt wurden diese Krystalle erst durch die Verhandlungen der geologischen Gesellschaft von Frankreich, die sich 1861 in *Saint Jean-de-Maurienne* in der Nähe des *Mont Cenis* versammelte, wo die Lagerung des Dolomits worin sie vorkommen der Gegenstand einer besondern Untersuchung war. Derselbe findet sich hier nach dem Berichte des Hrn. *Lory*²⁾ auf dem rechten Ufer der *Arc* bei *Villarodin*, wo er in einer 150 Meter mächtigen Schicht ansteht, auf Quarzit gelagert und von Gyps und talkigem Talkschiefer bedeckt ist. Er ist hier wie auch die eingemengten Albitkrystalle, graulich-schwarz, was von eingemengten kohligen Theilen herrührt, die mit den Albitkrystallen bei der Auflösung des Dolomits in Chlorwasserstoffsäure zurückbleiben und enthält etwa 30 Proc. kohlensaure Magnesia. Bei dem *Fort d'Esillon* hat man in ihm auch einige Muschelversteinerungen gefunden, die den Gattungen *Lima* und *Avicula* angehören, und es wahrscheinlich machen, daß dieser Dolomit zur *Trias*-formation gehöre. Weiter aufwärts wird der Dolomit weiß, feinkörnig, und der eingemengte Albit fast wasserhell, wie bei *Bourget*, wo er in einer beinahe senkrechten Schicht ansteht; in den schönsten und durchsichtigsten Krystallen findet er sich aber in einem freistehenden Felsen

1) *Journ. des mines* 1808, V. 23, p. 321.

2) *Bulletin de la soc. géol. de France*, T. 18, p. 742.

bei Bourget, dem *Roc-tourné*, wo die Krystalle eine Breite von 5 bis 6 Linien erreichen.

Ich lernte den Dolomit von dem *Roc-tourné* erst im vorigen Jahre durch ein Stück kennen, welches Hr. Prof. Römer aus Paris mitgebracht hatte, und welches er mir auf meine Bitte freundlichst zur näheren Untersuchung übergab; später erhielt ich noch ein anderes Stück durch Hrn. Sämann in Paris, an den ich mich deshalb gewandt, und von dem auch Prof. Römer das seinige erhalten hatte und Hr. Sämann hatte die Güte diesen noch einige Dolomite von anderen Fundorten hinzuzufügen, ein Stück von dem schwärzlichgrauen Dolomit von dem *Fort d'Eseillon*, und von dem dichten von *Bonhomme*, von dem ich schon ein kleines Stück durch Hrn. Brochant besaß, und endlich auch noch einen andern bräunlichen Dolomit von d'Aste in den Pyrenäen, den ihm Hr. Descloizeaux freundlichst für mich übergeben hatte. Letzterer enthält, nach dem übersandten Stück zu urtheilen, nicht so gut ausgebildete Krystalle wie der Dolomit des *Roc-tourné*; aber er ist interessant, weil er zeigt, daß der Dolomit mit eingewachsenen Albitkrystallen noch eine größere Verbreitung als nur in den Alpen hat.

Die Albitkrystalle in diesem Dolomit sind größtentheils die gewöhnlichen Zwillingskrystalle, deren Zwillingsebene die Längsfläche *M* ist¹⁾. Sie sind, wie die Fig. 1 und 1a

1) Ich werde hier die Flächen des Albits mit den Buchstaben bezeichnen, deren ich mich bei der ersten Beschreibung des Albits in Gilbert's Annalen 1822 bedient habe, die Flächen des rhomboëdischen verticalen Prismas also wie dort mit *T* und *l*, die Abstumpfung der scharfen Seitenkante mit *M*, die vordere schiefe Endfläche mit *P*, die hinteren mit *x* und *y*, und die Abstumpfungen der schärferen Kanten *T/P* und *l/P* mit *p* und *o*, und ebenso werde ich die dort gewählte Stellung beibehalten, nach welcher die vordere Fläche *T* und die obere stumpfere Kante *P/M* links, die vordere Fläche *l* und die obere schärfere Kante *P/M* dagegen rechts liegen. Descloizeaux, der in seinem Handbuche der Mineralogie eine sorgfältige Beschreibung des Albits und eine sehr vollständige Uebersicht der Krystallwinkel desselben nach neueren sowie auch nach den älteren Messungen giebt, stellt die Krystalle so,

Taf. IV zeigen, durch Vorherrschen dieser Fläche tafelartig und an den Enden derselben vorzugsweise mit den Flächen P und y begränzt; die Flächen des verticalen Prismas sind nur ganz klein, so dafs in der Regel die Flächen P und y vom obern und untern Ende sich berühren. Aber während die Flächen P am obern Ende an der Zwillingsgränze einen einspringenden Winkel bilden, machen die Flächen y auf der hintern Seite an dieser einen ausspringenden Winkel; an dem untern Ende verhalten sich diese Flächen ganz ebenso, die Flächen P machen auch hier einen einspringenden und die Flächen y einen ausspringenden Winkel und in der Mitte der Längsfläche M sieht man eine durch die Flächen f gebildete rinnenartige Furche von oben bis unten herunter laufen. Zerbricht man den Krystall parallel den P -Flächen¹⁾, so sieht man, dafs die Spaltungsflächen auf der hintern Seite jenseits der Längsrinne auf M eine der vordern entgegengesetzte Lage haben, denn während dieselben auf der vordern Seite einen einspringenden Winkel bilden, machen sie auf der hintern Seite einen ausspringenden Winkel, so dafs die rechte Fläche P des einspringenden Winkels der linken Fläche des ausspringenden Winkels, und umgekehrt die linke Fläche P des einspringenden Winkels der rechten P des ausspringenden Winkels parallel ist. Die Krystallgruppe ist also ein Zwillingskrystall, dessen Individuen durcheinander gewachsen sind, wie dies bei vielen Zwillingskrystallen der Fall ist, aber bei den Zwillingskrystallen des Albits noch nicht vorgekommen ist²⁾.

dafs die stumpfe Kante P/M rechts liegt, und es haben bei ihm die Flächen

$P \quad M \quad T \quad l \quad x \quad y \quad o \quad p \quad f \quad x$

die Bezeichnung $p \quad g^1 \quad t \quad m \quad a^1 \quad a^2 \quad b^1 \quad c^1 \quad g^2 \quad g^1$,

was ich hier anführe, da ich im Verlauf dieser Arbeit auf die Beschreibung von Descloizeaux zurückzukommen vielfach Gelegenheit haben werde.

- 1) Fig. 2 stellt den Krystall von Fig. 1 an dem obern Ende parallel den P -Flächen abgebrochen dar.
- 2) Hr. Hessenberg, der diese Krystalle, wenn auch nur die kleineren

Die verticalen Flächen aufser M sind wie gesagt nur von unbedeutender Größe; es finden sich meistens nur die Flächen l , und so klein, daß diese Flächen der beiden Individuen an der Zwillingsgrenze mit den Flächen P und y von dem obern und untern Ende in einer Ecke zusammenreffen, und von einer Kante zwischen l und l an der Zwillingsgrenze selten etwas sichtbar ist. Sie finden sich aber nun sowohl auf der Vorderseite wie auf der Hinterseite. Häufig treten auch nach der Zwillingsgrenze zu, die Flächen T , und nach aufsen, als schmale Abstumpfungsflächen der Kanten zwischen l und M die Flächen z hinzu, doch sind die erstern Flächen in der Zeichnung fortgelassen. Ueberall aber erscheinen aufser den angegebenen noch die den sogenannten Rhomboëdfächen des Feldspaths entsprechenden Flächen p und o , und namentlich die Flächen p . Sie finden sich über den hintern Flächen y , und haben oft eine verhältnißmäßige bedeutende Größe, während die Flächen o über den vordern Flächen P viel kleiner sind. Ein o des einen Individuums gränzt an das p des andern über der von den Flächen f gebildeten Längsrinne; sie scheinen fast in eine Ebene zu fallen, doch ist, während die Kante zwischen den Flächen p und p an der Zwillingsgrenze mit

von Bonthomme schon früher beschrieben hat, (Abhandl. d. Senkenbergischen naturforschenden Gesellsch. zu Frankfurt a. M. 1858, Th. II, S. 163) giebt die Lage der Flächen ganz richtig an, hält aber die Krystalle für eine Verbindung zweier gewöhnlichen Zwillingkrystalle nach dem Gesetz, daß ihre Zwillingaxe eine auf der Längsfläche M senkrechte Linie, und deren Zusammensetzungsfläche die Querfläche ist, und ebenso beschreibt auch Hr. Descloizeaux die etwas größeren Krystalle von Modane (*Roc-tourné*) in Savoyen (*manuel de minéralogie*, p. 320 Fig. 143). Da aber die entsprechenden Flächen in den beiden angeblichen Zwillingkrystallen eine parallele Lage haben, so sind es keine doppelten sondern einfache Zwillinge. Diese Ansicht der Krystalle faßte ich sogleich als ich sie erhielt. Später sah ich, daß auch Quenstedt in seiner Mineralogie (2. Aufl.) S. 230, nach der Beschreibung von Hensenberg diese Ansicht von den Krystallen aufgestellt hat, ohne sie jedoch weiter zu beschreiben und aus eigener Ansicht zu kennen, daher dadurch die folgenden Bemerkungen nicht überflüssig gemacht werden.

der der Flächen o und o an dieser Gränze, wenn letztere Kante sichtbar wird eine gleiche Richtung hat, der Winkel den die Flächen p gegen M machen, stumpfer als der, welchen die Flächen o gegen M machen, indem ersterer $119^{\circ}31'$ letztere $113^{\circ}41'$ beträgt, ein Winkelunterschied, der so groß ist, daß außer ihrer Lage, die Fläche p daran leicht zu erkennen ist.

Ich habe eine große Menge dieser Albitkrystalle durch Auflösung des Dolomits erhalten, stets waren die Krystalle von derselben Art; stets bilden die Flächen P an der Zwillingsebene einen einspringenden und die Flächen y einen ausspringenden Winkel, stets finden sich über diesen die Flächen p nicht o . Die Zwillingsebene der Krystalle ist

- 1) Hr. Descloizeaux giebt in seiner Mineralogie den ersten Winkel zu $120^{\circ} 11'$ und überhaupt die Winkel der Zone Mx folgendermaßen an:

$$\begin{array}{ll} M : x = g' : a' = 86^{\circ} 21' & x : p = a' : ct = 153^{\circ} 28' \\ M : o = g' : b' = 113^{\circ} 41' & p : M = ct : g' = 120^{\circ} 11' \\ o : x = b' : a' = 152^{\circ} 40' & p : o = ct : b' = 53^{\circ} 52' \text{ über } g' \\ & \text{» » » » } = 126^{\circ} 8' \text{ » } a'. \end{array}$$

Aber diese Winkel stimmen nicht untereinander. Geht man von den Winkeln $g' : b'$ und $a' : b'$ aus, so erhält man für die Kante g' / a' über b' wie angegeben $86^{\circ} 21'$.

Berechnet man den Winkel dieser Kante aus den Kanten g' / a' und g' / ct , so erhält man für sie den Winkel: $85^{\circ} 55'$.

Berechnet man den Winkel aus den Kanten a' / b' und a' / ct , so erhält man $88^{\circ} 3'$.

Berechnet man die Kanten dieser Zone aus den Grunddimensionen, wie sie Descloizeaux in seinem Werke angiebt, so findet man, daß die drei ersten Winkel richtig und nur die drei letzten unrichtig sind; diese erhalten nun die Werthe:

$$\begin{array}{l} x : p = a' : ct = 154^{\circ} 8' \\ p : M = ct : g' = 119^{\circ} 31' \\ p : o = ct : b' = 126^{\circ} 48'. \end{array}$$

Daraus sieht man, daß der Fehler bei Descloizeaux dadurch entstanden ist, daß er die drei letzten Winkel aus den drei ersten berechnet, aber hier aus Versehen vor $48'$ die 4 weggelassen, und $126^{\circ} 8'$ statt $126^{\circ} 48'$ geschrieben hat. Ebenso sind nun auch die Winkel in der Zwillingsebene $p / p = ct / ct$ zu berichtigen; sie betragen nicht $119^{\circ} 38'$ wie angegeben, sondern $120^{\circ} 58'$. Auffallend ist nur, daß die Messung dieses Winkels von Descloizeaux, die $120^{\circ} 4'$ ergeben hat, besser mit dem falschen als mit dem richtigen Winkel stimmt.

also stets nur die linke Längsfläche M , nicht die rechte; denn wären die Krystalle mit dieser Ebene verbunden, so müßten die Flächen P einen ausspringenden, und die Flächen y einen einspringenden Winkel bilden, und über y sich die Flächen ρ finden, was ich nie beobachtet habe.

Indessen sind doch die in den Dolomiten eingewachsenen Zwillingsskrystalle nicht sämmtlich einerlei Art. Zwei solche durcheinander gewachsene Zwillingsskrystalle verbinden sich oft wieder regelmässig zu Doppelzwillingen, so daß die Zwillingssaxe für die neue Gruppe die der Längsfläche parallele Normale zur Hauptaxe und die Zusammensetzungsfläche die Längsfläche M ist, wie es die Fig. 3 Taf. IV angiebt; die Zwillingsskrystalle dieser Gruppe stehen also untereinander in demselben Verhältnisse wie die einfachen Feldspathkrystalle in den sogenannten Carlsbader Zwillingsskrystallen, und haben wie diese ihre deutlichsten Spaltungsflächen, die P -Flächen, auf entgegengesetzten Seiten zu liegen. Hier tritt aber stets der eigenthümliche Umstand ein, daß die nach innen liegenden Krystalle stets viel schmäler als die beiden äußeren sind und gewöhnlich nur als ganz schmale, oft kaum sichtbare Blättchen erscheinen oder in der That auch ganz verschwinden. Diese äußern Krystalle bestimmen allein das Ansehen der Gruppe; und diese hat, wenn die inneren Krystalle gar nicht da sind, die Form, wie sie Fig. 4 Taf. IV in schiefer und Fig. 4a in horizontaler Projection darstellen. Die Gruppe besteht nun ebenfalls noch aus vier Individuen, aber es sind nur die Hälften der vier Krystalle, die die vollständige Gruppe darstellen. Sie unterscheiden sich in ihrer Ausbildung von den einfachen Krystallen, daß bei ihnen die Flächen p sehr groß und die Flächen y gewöhnlich nur ganz klein sind, wodurch die Krystalle eine rhomboidische Gestalt erhalten, und niedriger und breiter als die einfachen Zwillinge erscheinen. Die Längsrinne in der Mitte der Längsflächen findet sich wie bei diesen. Vorn tritt auch hier noch T neben l hinzu, was in der Zeichnung nicht wiedergegeben ist. Außerdem aber unterscheiden sie

sich von den einfachen Zwillingen dadurch, daß sie bald mit ihren rechten, bald mit ihren linken Seiten verwachsen sind, was gleich häufig vorkommt. In Fig. 4 Taf. IV sind die Krystalle mit ihren rechten, in Fig. 5 mit ihren linken Seiten verwachsen, wenn man von der Stellung des einfachen Zwillinges in Fig. 1 ausgeht. Die Fläche p des einen Individuums liegt also theils zur Rechten, theils zur Linken von dem P des andern. Die Doppelzwillinge verhalten sich demnach vollkommen, wie beim Feldspath die Individuen in den Carlsbader Zwillingen, die ja auch bald mit der rechten, bald mit der linken Längsfläche verwachsen sind, wie dies Weifs schon vor langer Zeit gezeigt hat. Die einfachen Zwillinge sind aber auch in diesen Doppelzwillingen stets von derselben Art wie die vorhin beschriebenen; auch hier sind die einfachen Krystalle stets mit ihren linken Flächen verbunden, so daß auch in den Doppelzwillingen, sie mögen mit ihren rechten oder linken Seiten verwachsen seyn, stets die Flächen P ihren scharfen Winkel mit M nach auswärts gekehrt haben.

Dieselbe Gruppierung mit derselben Stellung der Individuen gegeneinander kommt bekanntlich auch bei den aufgewachsenen Albitkrystallen, z. B. von Schmirn in Tyrol vor¹⁾, wo sie schon vor längerer Zeit von Neumann ganz richtig angegeben ist²⁾, und findet sich auch ebenso bei den eingewachsenen Krystallen des Oligoklas und Labradores. Auch hier sind die einfachen Zwillinge bald mit den rechten und bald mit den linken Längsflächen verwachsen, und die nach innen liegenden Individuen werden oft ganz schmal, wie dies an einer Gruppe von Schmirn in der Fig. 8 und 9 Taf. IV dargestellt ist, wo zu den Flächen o noch die schiefen Endflächen α als schmale Abstumpfungsflächen ihrer Kanten untereinander hinzugetre-

1) Hr. Hessenberg rühmt die Schönheit der Krystalle dieser Art, die neuerdings zu Nolla in Graubünden vorgekommen sind. (Abhandl. d. Senkenbergischen naturforsch. Ges. Bd VI, S. 181).

2) N. Jahrb. d. Chem. u. Phys. von Schweigger-Seidel von 1831, Bd. 3, S. 455.

ten sind, wie dies gewöhnlich bei diesen aufgewachsenen Krystallen der Fall ist; nur sind in allen diesen Fällen die Krystalle nicht durcheinander, sondern nur aneinander gewachsen.

Bei diesen Doppelzwillingen hat man Gelegenheit noch eine andere Beobachtung zu machen, die für die Krystallisation des Albits und vielleicht auch noch anderer 1- und 1-gliedriger Krystalle von Wichtigkeit ist. Es scheinen hier nämlich die Flächen \underline{P} und \underline{P} des ersten und zweiten Individuums, die einen einspringenden Winkel bilden, (vergl. Fig. 3 Taf. VI) dann die Flächen \underline{p} und \underline{p} des dritten und vierten Individuums, die einen ausspringenden Winkel bilden, und die Längsfläche dieses wie des ersten Individuums, vollkommen in *eine* Zone zu fallen. Bei den Krystallen von dem *Roc-tourné*, bei welchen die innern Individuen stets nur als ganz schmale Blättchen erscheinen, und die Kanten der Zone also eng nebeneinander liegen, kann man den Parallelismus derselben sehr gut beobachten. Dasselbe sieht man auch häufig bei den aufgewachsenen Krystallen von Schmirn, wo die Krystalle noch glänzender sind, so daß der Parallelismus noch durch Messungen mit dem Reflexionsgoniometer bestätigt werden kann. Ist aber dieser Parallelismus scharf, so folgt daraus, daß die ebenen Winkel auf der Längsfläche \underline{M} , welche die Kanten mit \underline{P} und \underline{l} einerseits und mit α und \underline{T} andererseits bilden, durchaus gleich sind. Berechnet man diese Winkel nach den Grunddimensionen wie sie Descloizeaux in seinem Werke angegeben hat, so findet man, daß dies nicht vollkommen der Fall ist, indem hiernach der erste Winkel $116^{\circ} 26'$, der letzte Winkel $115^{\circ} 55'$ beträgt, was einen Unterschied von $31'$ macht, um welchen vielleicht, wenn sich jener Parallelismus bestätigte, die Winkel des Albits, wie sie Descloizeaux angiebt zu berichtigen wären. Beim Feldspath findet bekanntlich die Gleichheit dieser Winkel nicht statt, wie dies Kupffer nachgewiesen hat. Der Unterschied ist hier sogar sehr beträchtlich, und beträgt fast 2° . Wie in

der angegebenen Richtung findet beim Albit auch noch in anderen Richtungen eine ähnliche merkwürdige Symmetrie, oder wenigstens eine Annäherung zur Symmetrie statt. Diefes ist in der Zone P, M und in der Zone T, l, M der Fall, auf welche beide schon Neumann, dem wir so gründliche Untersuchungen über die Krystallisation des Albits verdanken¹⁾, aufmerksam gemacht hat. In der ersten Zone sind die Flächen e und n , die den Flächen des basischen Prismas entsprechen, fast rechtwinklig gegeneinander geneigt, unter $90^\circ 3,5'$ nach Neumann bei der Messung des Krystalls No. 4, unter $90^\circ 4'$ nach Descloizeaux; die Flächen P und M bilden auf diese Weise fast genau ein rhombisches Prisma, dessen stumpfere und schärfere Kanten von den Flächen e und n gerade abgestumpft werden. Ebenso bilden die Flächen Tl auch fast ein rhombisches Prisma dessen scharfe Kanten von den Flächen M gerade abgestumpft werden. Nach den Angaben von Descloizeaux beträgt

$$\text{die Neigung von } T : l = 120^\circ 47'$$

$$\text{„ „ „ } M : l = 119 \ 40$$

$$\text{„ „ „ } M : T = 119 \ 33$$

zwischen den letztern Winkeln findet also nur ein Unterschied von $7'$ statt. Nach den Messungen, die ich in der ersten Beschreibung des Albits gegeben habe²⁾, würden diese Winkel mehr von einander abweichen, denn hier nach beträgt

$$\text{die Neigung von } T : l = 122^\circ 15'$$

$$\text{„ „ „ } M : l = 119 \ 52$$

$$\text{„ „ „ } M : T = 117 \ 53 \ 3)$$

doch scheint diese große Abweichung allerdings nicht die

1) Abb. d. K. Akad. d. Wiss. zu Berlin von 1830, S. 189.

2) Ann. d. Physik von Gilbert 1823, Bd. 73, St. 2.

3) Während die übrigen Winkel, von denen ich bei der Berechnung des Albits ausgegangen bin, wenig oder gar nicht abweichen, wie aus der folgenden Zusammenstellung zu sehen ist:

nach G. Rose.	nach Descloizeaux.
$P : l = 110^\circ 51'$	$110^\circ 50'$
$P : M = 86 \ 24$	$86 \ 24$
$P : o = 122 \ 23$	$122 \ 12.$

gesetzmäßige zu seyn, und davon herzurühren, daß die Fläche T in ihrer Stellung großen Schwankungen unterworfen ist, wie Neumann sowohl als Descloizeaux ausdrücklich anführen. Auch giebt letzterer an, daß nach einem Mittel aus vielen Messungen, die sowohl er als Marignac mit Krystallen vom Gotthardt angestellt habe, die Neigung von T gegen l $121^{\circ} 45'$ betrage¹⁾, die dem von mir angegebenen Winkel schon näher kommt. Aus einer Beobachtung Neumann's²⁾, nach welcher er an einem schönen Zwillingkrystall in dem Berliner mineralogischen Museum von Miask (d. h. Kiräbinsk) im Ural gefunden habe, daß die Flächen T des einen und l des andern Krystalls des Zwillings in *einem* Niveau lägen, könnte man veranlaßt seyn, anzunehmen, daß in der Lage von T und l gegen M gar kein Unterschied stattfände. Wiewohl nun Neumann nach diesem einzelnen Falle sich nicht für berechtigt hält, auf die Uebereinstimmung jener Winkel zu schließen, indem er sich durch seine Messungen an dem Albit überzeugt habe, welche Schwankungen bei den Krystallen vorkommen, so kann auch in der That der angegebene Fall jene Gleichheit nicht beweisen, da die Flächen l und T jenes Krystalls, der sich noch in dem Berliner Museum befindet, doch nicht glatt genug sind, um sich von dem vollkommenen Parallelismus beider Flächen zu überzeugen. Läßt man die Flächen T und l spiegeln, so kann man einen Unterschied in der Lage der Flächen allerdings nicht wahrnehmen, aber die Bilder die man durch Reflexion erhält, haben keine scharfen Umrisse, die Fläche l ist zart vertical gestreift, und die Fläche T stellenweise parallel der Kante mit P ; es können demnach bei diesem Krystalle kleine Unterschiede in der Lage der Flächen wohl stattfinden, ohne daß man sie sehen kann. Einen solchen geringen Unterschied in den Neigungen der Flächen T und l beweisen andere Krystalle von Schmirn in Tyrol mit noch glatteren und glänzenderen Seitenflächen

1) *Manuel de mineralogie* p. 318.

2) A. a. O. S. 228.

als sie jener von Neumann erwähnte Krystall hat, die ich der Güte des Hrn. Prof. v. Kobell verdanke. Ich habe von einigen dieser Krystalle Zeichnungen in horizontaler Projection gegeben; man sieht bei dem Krystalle Fig. 6 Taf. IV bei a ganz bestimmt einen kleinen ausspringenden Winkel zwischen l des einen und T des andern Krystalls, bei dem Krystalle Fig. 7 Taf. IV an den Stellen a einen ausspringenden und bei e einen einspringenden Winkel ¹⁾; bei dem Krystalle Fig. 8 Taf. IV sieht man auch, daß die Flächen T des einen und l des andern nicht völlig genau parallel sind. Ein kleiner Unterschied in der Neigung von T und l gegen M scheint beim Albite durchaus stattzufinden. Ob man nun bei den Winkeln, wie sie Descloizeaux in der Zone TlM angiebt, wird stehen bleiben können, ob ferner die Winkel e und n in der Zone PM rechtwinklig gegeneinander geneigt sind, wie Neumann es für sehr wahrscheinlich hält und ob die völlige Uebereinstimmung in den Neigungen der Kanten PM und xM zu den Kanten lM und TM wirklich stattfindet, müssen weitere Untersuchungen lehren.

Schließlich will ich noch anführen, daß man bei den Krystallen von der *Roc-tourné* öfter Gelegenheit hat, die Spaltbarkeit parallel den Flächen p ($b\frac{1}{2}$ Descloizeaux) wahrzunehmen: die schon früher Breithaupt beim Albit angegeben hat ²⁾. Sie giebt der parallel der Fläche T an Vollkommenheit wenig nach, und ist ebenso wie bei den Albiten des *Roc-tourné* bei den Albiten aller übrigen Fundorte zu bemerken, was ich hier nur anführe, da die Spaltbarkeit des Albits nach dieser Richtung in mehreren Handbüchern der Mineralogie nicht angegeben wird.

1) Nach vorläufigen Messungen fand ich diesen Winkel bei diesen Krystallen $179^{\circ} 39'$. Nach den Angaben von Descloizeaux würde dieser Winkel $179^{\circ} 53'$ betragen.

2) Pogg. Annalen, 1826, Bd. 8, S. 92.

**VI. Ueber die Erzeugung einer eigenthümlichen
Art von intensiven elektrischen Strömen ver-
mittelt eines Influenz-Elektrometers;
von Dr. A. Toepler,
Prof. am baltischen Polytechnicum in Riga.**

Bei Gelegenheit einer Reihe von optischen Untersuchungen über die Schallwellen in der atmosphärischen Luft benutzte ich Monate lang einen kräftigen Inductionsapparat zur raschen Ladung von Leydener Flaschen. Die Unbequemlichkeiten, welche hierbei aus der fortwährenden Instandhaltung einer kräftigen Bunsen'schen Kette hervorgingen, riefen den Wunsch nach einer reichlichen Elektricitäts-Erzeugung ohne Anwendung einer hydroelektrischen Kette hervor. Die Elektrisirmaschine erwies sich bei obigen Versuchen von vornherein als viel zu wenig ausgiebig, indem pro Secunde mehrere sehr kräftige Flaschenladungen erfordert wurden. Es ist ja bei der Elektrisirmaschine das Verhältniß der quantitativen Leistung zu der auf Ueberwindung der Reibung verwendeten Kraftanstrengung ein äußerst ungünstiges.

Es läßt sich nun auf die bekannten Influenz-Phänomene die Construction eines Apparates gründen, welcher mit sehr geringem Kraftaufwande gespannte Elektricität in viel reicherm Maasse liefert, indem man dabei von einer einmal mitgetheilten sehr schwachen Ladung ausgeht. In folgender Abhandlung übergebe ich die Theorie des Apparates und die bereits mit demselben experimentell gewonnenen Resultate der Oeffentlichkeit, indem ich schon jetzt die bestimmte Ueberzeugung aussprechen darf, daß derselben in denjenigen Fällen die gebräuchlichen Elektromotoren mit Vortheil ersetzen kann, wo es sich um sehr reichliche Erzeugung gespannter Elektricität handelt. Vor der Beschreibung des Principis, auf welchem dieser Influenz-Elektromotor beruht, muß ich einige Bemerkungen über eine

Hülfsconstruction vorausschicken, welche bei dem Apparat zur Anwendung kommt.

Es sey *AB* Fig. 1 Taf. V eine Glasscheibe von etwa 12 bis 15 Zoll Durchmesser, welche möglichst senkrecht auf einer Glasaxe *RR* befestigt ist. Diese Axe laufe zwischen zwei feinen Stahlspitzen, so daß sie sich in sehr rasche Rotation versetzen läßt. Die Glasscheibe trage auf der untern Seite zwei Stanniolbelegungen in Form zweier grosser Kreissegmente, welche durch einen $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll breiten nicht belegten Streifen von einander isolirt sind. (In Fig. 1 deuten zwei punctirte Linien die Segmente *A* und *B* an, der Zwischenraum zwischen beiden von *e* nach *f* hin ist unbelegt). Auf der obern Seite der Scheibe ist nun je ein dem unterhalb befindlichen Segmente entsprechender halbringförmiger Streifen (*p* und *q*) belegt, welcher mit dem betreffenden Segmente durch ein über den Rand greifendes Stanniolstreifchen verbunden ist. Zwei isolirte Conductoren *g* und *h* tragen an den Enden äußerst zarte Federn *e* und *f*, welche bei der Drehung auf dem Rande der Scheibe schleifen. Unterhalb der beweglichen Scheibe *AB* ruht auf drei isolirenden Füßen *abc* die Metallscheibe *A'*, welche durch Stellschrauben parallel zu *AB* gehoben oder gesenkt werden kann. Ihre Form und Grösse entspreche möglichst genau den belegten Segmenten auf der untern Seite von *AB*.

In der in Fig. 1 Taf. V angenommenen Stellung sind nun die Segmente *A* und *B* isolirt, weil *e* und *f* gerade auf Glas schleifen. Bringt man nun die ruhende Scheibe *A'* durch den Conductor *l* mit irgend einer Elektrizitätsquelle von schwacher Spannung (z. B. den Pol einer kleinen zambonischen Säule) in Berührung, während man das Segment *A* etwa durch Berührung bei *q* ableitend mit der Erde verbindet, so ladet sich das Plattenpaar *AA'* wie ein Condensator. Wurde mit *l* der negative Pol der Säule verbunden, so wird so viel Elektrizität auf *A'* übergehen, bis auf *l* die Spannung des freien Poles erreicht ist, (wenn man von den unvermeidlichen Verlüsten absieht).

Wenn nun die Scheibe AB um R in rasche Rotation in der Richtung des Pfeiles versetzt wird, so wird die auf ihr verdichtete $+E$ frei und kann über h abgegeben und z. B. zum Laden einer Flasche benutzt werden. Wird gleichzeitig der Conductor g mit dem Boden gut leitend verbunden, so kann sich das Segment B , indem es an die Stelle von A tritt, sehr rasch wieder laden usw. Das System wird sich in diesem Falle verhalten, wie ein in rascher Thätigkeit begriffener Elektrophor, indem die einmal auf A' angehäuften $-E$ ohne verbraucht zu werden, fortwährend neue $+E$ aus dem Boden herbeizieht. Hierbei hat man den wesentlichen Vortheil, auf welchen ich ganz besonders aufmerksam mache, daß die $-E$ auf A' in keinem Augenblicke frei werden kann, indem sie stets unter Influence der über ihr bewegten metallischen Flächen bleibt. Es werden daher die Verluste, welche A' mit der Zeit erleidet, somit nur von ihrem Spannungsüberschuß abhängen, welcher immer nur sehr klein ist.

Wird g nicht mit dem Boden verbunden, so ist ohne Erläuterung klar, daß bei der Drehung in vorliegendem Falle negative Elektricität fortwährend daselbst frei werden muß; während auf h die Spannung der freiwerdenden $+E$ auf die Hälfte herabsinkt; kurz es verhalten sich die Klemmen m und n wie die Pole einer schwachen Säule, was auch ein rascher Funkenstrom zwischen zwei genäherten Poldrähten i und k beweist.

Obgleich nun ein Apparat in dieser einfachen Form aus naheliegenden Gründen nur für sehr kleine Spannungen gebraucht werden könnte, so reicht er doch schon hin, um bei der oben bemerkten Größe und einem Abstände von 4 bis 5^{mm} zwischen den Flächen A und A' nachweisbare Effecte zu geben, wenn man zur Ladung von A' auch nur eine mit warmer Hand gestrichene Siegelackstange oder eine in der Eile zusammengesetzte zambonische Säule aus wenigen Hundert Plattenpaaren benutzt. Dünnglasige Flaschen laden sich rasch und geben, wenn auch sehr kleine Funken so doch kräftige Erschütterungen.

Die eben erläuterte Vorrichtung bildet in etwas veränderter Form einen integrierenden Theil des später zu beschreibenden Apparates, weshalb noch folgende Bemerkungen hinzugefügt werden mögen.

1. Die Quantität der auf A und A' verdichteten Elektricitäten wächst mit abnehmendem Abstände. Es ist aber der Annäherung der Platten eine Gränze gesteckt, nicht allein durch den Spannungsüberschuß der $-E$ auf A' , sondern mehr noch durch die viel beträchtlichere Spannung der $+E$, welche auf A in dem Maasse frei wird, als Flächenelemente bei der Drehung aus der Wirkungssphäre von A' heraustreten. Stärkere Ladungen von A' würden daher überhaupt nicht möglich seyn, weil alsdann stets schon gegen Ende der ersten halben Rotation ein Entladungsfunkeln zwischen den Platten überspringt und den Apparat ausser Thätigkeit setzt. Es liegt nahe, dies dadurch zu verhüten, daß man die Metallflächen nicht nur durch Luft sondern noch durch einen widerstandsfähigeren Isolator trennt. Man erreicht dies ganz einfach, indem man auf die ruhende Metallscheibe A' eine dünne Glasplatte legt, welche an den Rändern etwa um $\frac{3}{4}$ Zoll vorsteht. Noch besser fertigt man die ganze Scheibe A' aus Glas und belegt die untere Seite mit Stanniol. Bei der rotirenden Scheibe dürfen aber die beiden metallenen Segmente nicht auf der obern Seite angebracht seyn, weil man sonst sofort eine beträchtliche Schwächung in der Wirkung bemerkt, welche sich leicht erklären läßt. Befindet sich nämlich unterhalb der bewegten Metallflächen AB noch Glas, so geht bekanntlich die Ladung zum Theil in das Glas hinein. Bei der raschen Rotation (etwa 15 bis 18 pro Minute) hat nun dieser Antheil der Ladung nicht Zeit, nach je einer halben Umdrehung vollständig auf h abgegeben zu werden. Ein Theil der Ladung wird also nutzlos mit herumgeführt und nur der auf der Metallfläche selbst verdichtete Antheil kommt zur Wirkung. Es ist jedoch ebenso wenig rathsam, die Belegung an der untern Seite von A und B ganz frei zu lassen, weil hier bei der Drehung ein

lebhafter Luftzug entsteht, welcher durch Ozongeruch nicht unwesentliche Verluste andeutet. Man überzieht daher die ganze untere Fläche von *A* und *B* nur mit einer sehr dünnen Firnißschicht. Die Federn *ef* müssen außerordentlich nachgiebig seyn; weil sonst sehr bald feine Metalltheilchen abgerieben werden und sich zwischen den beiden Ringstücken auf der Glasfläche festsetzen, wodurch die Isolation zwischen *A* und *B* gefährdet wird. Gewöhnliche Metallfedern sind daher gar nicht zu brauchen. Sehr gut eignen sich hierzu Büschel aus möglichst feinem Draht oder das zarte Drahtgewebe, welches man erhält, indem mit Gold oder oder Silber durchwirktes Seidenband ausgebrannt wird. Diese letzteren bieten der Rotation der Glasscheibe ein kaum merkliches Hinderniß.

Unter obigen Vorsichtsmaafsregeln kann man der Platte *A'* schon stärkere Ladungen anvertrauen und man erhält so zwischen *ik* leicht einen Funkenstrom von $1\frac{1}{2}$ Centim. Schlagweite, der aber leider sehr rasch abnimmt. Schwächere Ladungen halten sich allerdings stundenlang. Der hauptsächlichste Verlust findet noch immer durch den Zwischenraum zwischen *A* und *A'* statt. Selbst wenn *A'* mit einer gläsernen Schutzplatte überdeckt ist, kann man sie nicht zu sehr der rotirenden Scheibe nähern, ohne daß, wie man im Dunklen bemerkt, bei der Rotation zahllose knisternde Fünkchen auf die Glasfläche herabschlagen, welche natürlich mit der Zeit eine Ausgleichung durch die Schutzplatte zur Folge haben. Es giebt jedoch ein einfaches Mittel diesen letzteren Uebelstand ganz zu beseitigen. Die beiden Conductoren *m* und *n* tragen am oberen Ende zwei einander entgegenstehende Schrauben *r* und *s*, welche mit ihren Spitzen einander beliebig genähert werden können. Bemist man deren Abstand so, daß er nur um ein Geringes kleiner ist, als der Abstand der rotirenden Scheibe von der Schutzplatte, so wird diese Vorrichtung wie der Blitzableiter des elektrischen Telegraphen wirken. Man ist in diesem Falle natürlich nicht im Stande, bei *ik* das Maximum der Schlagweite zu erzielen, allein man kann den

Strom durch jeden zwischen die Pole eingeschalteten Leiter führen, falls dessen Widerstand nicht größer, als der Luftwiderstand zwischen r und s . Sind m und n vollkommen verbunden, so circulirt in dem Leiter ein continuirlicher Strom, welcher nur zweimal während einer Rotation unterbrochen wird und zwar in den Augenblicken, in welchen die Federn über die Unterbrechungsstellen gleiten. Es mag schon hier erwähnt werden, daß man diese Unterbrechungen beseitigen kann, indem man viele rotirende Scheiben auf derselben Axe R befestigt, deren entsprechende Conductoren leitend verbunden sind. Daß man den Apparat mit einem Worte verdoppelt oder vervielfacht. Man braucht dann nur die Unterbrechungsstellen so anzubringen, daß nie alle Federn zugleich die Unterbrechungsstellen passiren.

In der bisher betrachteten einfachen Form ist nun der Apparat noch sehr unvollkommen, hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Dichte der Elektricität auf der ruhenden Scheibe so rasch abnimmt, und zwar um so rascher, je größer sie anfangs ist. Es wird dadurch ein wiederholtes Elektrisiren nöthig gemacht werden; die fortwährende Hülfe eines anderen Elektromotors wäre daher nicht zu umgehen. Glücklicher Weise giebt nun der Apparat ganz von selbst die Mittel an die Hand, abermals durch Influenzwirkung die einmal auf A' mitgetheilte Elektricität selbstthätig fort und fort zu steigern oder auf einem constanten Maafs zu erhalten. Die Aufgabe, mittelst zweier gewöhnlicher Condensatoren, wie sie bei Elektroskopen in Gebrauch sind, ein gegebenes Quantum von Elektricität auf einer der Condensator-Platten zu vervielfältigen, läßt sich auf mehrfache Weise lösen und bekanntlich hat Fechner schon längst ein derartiges Verfahren angegeben. Es erscheint fast auffällig, daß man eine derartige Anordnung nicht längst schon zur Construction eines zweckmäßigen Elektromotors verwendet hat. Auch bei dem oben beschriebenen Rotationsapparate läßt sich diese Aufgabe ohne Schwierigkeit lösen. Die Construction, bei welcher ich nach mehrfachen Abänderungen stehen geblieben bin, ist durch Fig. 2 Taf. V dar-

gestellt. Erst in dieser Form ist der Apparat im Stande, die günstigsten Resultate zu liefern, welche weiter unten mitgetheilt werden sollen. Es bedeutet wie früher RR die leicht bewegliche Axe, AB die bewegliche Scheibe mit genau denselben Belegungen. Die ruhende Scheibe A' ist hier eine viereckige Glasplatte, auf deren unterer Seite ein Kreissegment genau so groß als A und B belegt ist. Diese Belegung steht durch einen Stanniolstreifen mit der Klemme l in Verbindung. Unterhalb befindet sich die ganze Vorrichtung genau mit denselben Verhältnissen, nur in verkleinertem Maassstabe noch einmal wiederholt, jedoch um 180° gedreht. Die kleine Scheibe ab rotirt mit AB ; a' ist eine zweite ruhende Platte. Die Conductoren m' und n' tragen in ähnlicher Weise Contactfedern, wie oben; auch für die Isolirung gilt das früher Gesagte.

Denkt man sich nun die Klemmschraube l , mit dem Conductor m , ferner den kleinen Conductor n' mit l , und endlich die Conductoren n und besonders m' durch Drähte gut leitend mit der Erde verbunden, (am besten indem man dieselben an das Rohr einer größeren Gas- oder Wasserleitung befestigt), so wird man erkennen, daß die Platte A' in keinem Augenblicke mit der Erde in leitender Verbindung steht und es läßt sich leicht folgender Hergang verfolgen:

Es sey A' mit einer sehr kleinen Menge von negativer Elektricität z. B. versehen worden, so wird bei der Rotation der Scheiben in der Richtung des Pfeiles auf h und m positive Elektricität frei werden. Nehmen wir vorläufig an, es seyen m und n nicht leitend verbunden, desgleichen r und s soweit auseinander geschraubt, daß hier keine Entladung möglich ist, so wird ein Theil der positiven Elektricität die Platte a' sehr rasch laden. Auf der darüber rotirenden Scheibe ab wird daher fortwährend — E über $f'm'$ herbeigezogen und dann bei weiterer Drehung über $e'n'$ nach l und A abgegeben. Es wird somit die Spannung auf A' bei geöffneten Polen m und n stetig wachsen müssen, bis die unvermeidlichen Verluste dem Zuwachs gleichkom-

men. Bedenkt man aber, daß die $+E$, welche auf a' getreten ist, nicht verloren geht, sondern lediglich so lange auf a' zu verweilen braucht, bis sich das Segment a geladen hat, so ersieht man, daß man den Strom zwischen mn nach wie vor ausnutzen kann. Giebt man nämlich der kleineren Scheibe ab eine geringe Voreilung in ihrer Stellung gegen AB , so daß also e mit B noch in Contact ist, während die Feder f' schon außer Verbindung mit a ist, so könnte man zu Ende jeder halben Rotation B und den Conductor h z. B. durch momentane Berührung mit dem Finger entladen. Es würde von a' nur der Spannungsüberschuß (über a) genommen werden, da sich jetzt a und a' wie eine isolirte Leydener Flasche verhalten. Die $-E$ von a wird später doch an A' abgegeben werden können. Bei der nächsten halben Umdrehung reicht dann eine sehr geringe Menge von $+E$ hin, um auf der Scheibe a' die vorhergehende oder eine noch größere Ladung zu bewirken. Daher ist es nun leicht erklärlich, warum man, wenn a' einmal geladen ist, bei fortgesetzter Drehung, zwischen r und s einen sehr kräftigen Funkenstrom erhalten kann, ohne daß nun die Intensität im geringsten abnimmt. Es schadet sogar nicht viel, wenn die Scheibe ab keine Voreilung hat, oder, was dasselbe heißt, wenn die Platte a' gelegentlich ganz entladen wird indem sich dieselbe bei dem gewählten Größenverhältniß sehr rasch wieder laden wird.

Die Spannung auf A' steigert sich in kurzer Zeit bis auf einen sehr ansehnlichen Maximalwerth, welcher durch die unvermeidlichen Verluste bestimmt wird. In der Folge soll das untere Plattensystem a' und ab der Kürze halber mit dem Namen »Regenerator« bezeichnet werden.

Man wird sofort bemerken, daß zwar nicht alle auf a über $f'm'$ herbeigezogene $-E$ an A' abgetreten wird, indem das Segment a einen Theil der Ladung bei der Berührung mit e' behält, welcher Theil dann in der folgenden halben Rotation, indem a an die Stelle von b tritt, wieder an f abgegeben und verloren wird. Man könnte überhaupt vermuthen, daß dieser Verlust dem Zuwachs das Gleich-

gewicht halten, oder dafs gar umgekehrt eine successive Entladung von A' eintreten könnte. Diefs ist jedoch, wie aus den später zu entwickelnden Formeln hervorgeht, nicht möglich, so lange auf h und a eine bestimmte Spannung herrscht.

Man kann mit dem Strom zwischen m und n beliebig experimentiren, wenn man nur für einen so grofsen Widerstand sorgt, dafs auf h noch ein Spannungsresiduum bleibt und zwar mufs dieses so grofs seyn, dafs der Regenerator noch im Stande ist, die Summe der Verluste auf A' zu decken. Diesen Zweck erreicht man vorläufig am besten, indem man bei allen Leitungen von m nach n eine Unterbrechung einschaltet, so dafs nur eine Entladung in Form von Funken möglich ist.

Wollte man aber m mit n durch einen guten Leiter dauernd verbinden, so versteht sich von selbst, dafs in diesem Falle der Regenerator ganz unwirksam seyn wird, weil sich dann a' gar nicht mehr laden kann. Es wird sich sogar in diesem Falle die Platte A' in kurzer Zeit ganz entladen, weil nun die Segmente a und b bei jeder Umdrehung einen Theil der Ladung bei e' aufnehmen und über f' abgeben. Bei vollständiger Schließung wird man daher auch mit dieser Form des Apparates einen continuirlichen Strom nur auf kurze Zeit erhalten. Um daher den Apparat zu einem in allen Richtungen brauchbaren Elektromotor zu verwandeln, bedarf es noch einer Modification, welche, obgleich sie höchst einfach, und fast selbstverständlich ist, erst zum Schlusse der Abhandlung besprochen werden soll. Es macht nämlich der Apparat schon in der Form Fig. 2 Taf. V ein Ganzes aus, mit welchem sich eine Reihe von überraschenden Versuchen ausführen läßt, über welche ich zunächst berichten möchte, um daran eine eingehendere Theorie über die Wirksamkeit des Regenerators schliessen zu können.

Den Apparat wie er in Fig. 2 dargestellt ist, habe ich in kleinem Maafsstabe ausführen lassen; ich mufs jedoch bemerken, dafs in der Zeichnung die Höhendimensionen

im Verhältniß zur Breite und Tiefe zu groß genommen sind, damit die einzelnen Theile besser übersehen werden können. Die Länge der Axe beträgt noch nicht einen Fuß (rheinl.). Der Durchmesser der Scheibe AB ist 14, der von ab $8\frac{1}{2}$ Zoll. Die Rotationsgeschwindigkeit kann im Maximum durch den Schnurlauf v auf 15 bis 18 pro Sekunde gesteigert werden. Die Bewegung wird gesichert durch einen Holzrahmen xy , dessen vorderer Theil in der Zeichnung der Deutlichkeit halber weggelassen ist. Der isolirende Streifen zwischen den Segmenten AB , desgleichen zwischen a und b ist 2 Zoll breit. Dadurch ergibt sich das Flächenverhältniß der Segmente des Regenerators zu denen auf AB nahe $= 1:3\frac{1}{4}$. Die rotirenden Scheiben lassen sich durch eine Stellvorrichtung mittelst Schrauben leicht genau senkrecht zur Axe stellen. Diese Stellschrauben sind in der Figur weggelassen. Das Einstellen wird durch die Beobachtung der Spiegelbilder auf der obern Seite der Scheibe sehr erleichtert. Die ruhenden Platten, deren Belegung unterhalb befindlich ist, sind bei den gewöhnlichen Versuchen soweit von den rotirenden Scheiben entfernt, daß der Abstand der bindenden Metallflächen 8^{mm} beträgt.

Mit diesem Apparat, dessen Dimensionen gewiß als sehr klein zu bezeichnen sind, gelingen nun schon leicht die folgenden Versuche:

1) Wird der Apparat bei l mit der schwächsten Ladung versehen, z. B. mit einer einmal durch die warme Hand gezogenen Harzstange, und man stellt den Funkenentlader auf $\frac{3}{4}$ bis 1 Zoll Schlagweite ein, so wächst die Thätigkeit innerhalb 10 bis 15 Sekunden so, daß bei rs ein sehr kräftiger Funkenstrom entsteht. Die Schlagweite kann bei obigen Dimensionen des Apparates nicht vergrößert werden, weil sonst ein starkes Ueberströmen zwischen den Flächen AA' stattfindet. Ueberhaupt wird man schon hier erkennen, daß die Vortheile des Apparats weit mehr durch seine quantitativen Leistungen, als durch Schlagweite begründet sind. Wollte man diese sehr vergrößern, so müßte der

Abstand von A bis A' vergrößert werden. Um dann noch quantitative Effecte zu erzielen, müßte auch der Durchmesser der rotirenden Scheibe in entsprechendem Maasse wachsen. Bei obiger Schlagweite erscheint zwischen rs bei jeder halben Rotation nur 1 Funke, also etwa 30 bis 36 Funken pro Secunde bei rascher Drehung.

Werden die Schrauben r und s genähert, so fallen mehrere Entladungen auf eine halbe Rotation. Auch an sämtlichen Contactfedern beobachtet man bei der Rotation ein lebhaftes Funkenspiel.

2) Eine sehr auffällige Erscheinung zeigte sich bald nach Anfertigung des Apparates. Es hat sich nämlich erwiesen, daß der Apparat, um in Thätigkeit zu gelangen, gar nicht elektrisirt zu werden braucht. Wenn er auch Wochen lang nicht gebraucht wurde, so beginnt er doch von selbst wieder zu arbeiten, wenn man nur 4 bis 5 Minuten anhaltend gedreht hat. Hier dauert die Ladung also etwas länger. Um zu untersuchen, ob diese auffallende Erscheinung etwaigen Ladungsrückständen von früherem Gebrauch zuzuschreiben sey, nahm ich den ganzen Apparat auseinander und überließ die einzelnen Theile mehrere Stunden sich selbst. Nachdem der Apparat wieder zusammengesetzt war, lud er sich doch beim Drehen von selbst wieder. Man könnte diesen Umstand entweder der Luftreibung oder der Reibung der schwachen Contactfedern zuschreiben, oder aber man könnte an die Spannungsdifferenzen der verschiedenen Metalle denken, aus denen der Apparat gefertigt ist. Ich lasse es dahin gestellt seyn, welche von beiden Erklärungsweisen als die richtige zu betrachten ist, muß aber bemerken, daß bei selbstthätiger Ladung die Platte A' stets negative Ladung bei meinem Apparate annimmt¹⁾. Ich pflege den Apparat jedoch bei

1) Die ruhende Scheibe A' , sowie die rotirende AB , besitzt Silberbelegung, die kleineren Scheiben a' und ab sind mit Zinnfolie belegt. Hiernach liegt allerdings die Vermuthung sehr nahe, daß die Spannungsdifferenz zwischen jenen beiden Metallbelegungen der Grund der Selbstladung seyn könne.

den Versuchen durch eine kleine zambonische Säule zu laden, deren einer Pol einige Zeit mit l in Berührung gebracht wird. Dann ist der Apparat stets in sehr wenigen Secunden in voller Thätigkeit.

3) Der Apparat entladet sich natürlich plötzlich, wenn m und l leitend verbunden werden. Sollte dies beim Experimentiren jedoch zufällig geschehen, so schadet dies gar nichts, denn nach höchstens 4 bis 5 Secunden ist die vorige Wirksamkeit durch die Thätigkeit des Regenerators wieder hergestellt. Ist ferner der Apparat einmal geladen, so braucht die Polschraube n gar nicht mehr mit der Erde verbunden zu seyn. Sobald aber die Verbindung zwischen m' und dem Erdboden aufgehoben wird, hört in kurzer Zeit alle Wirkung auf. Dieser Umstand erläutert am besten die Rolle des Regenerators.

4) Was die Natur der bei rs oder an den Unterbrechungsstellen irgend eines eingeschalteten Leiters überschlagenden Funken betrifft, so sind dieselben durchaus den Funken kleiner Leydener Flaschen ähnlich. Die Entladungen gehören in das Gebiet der durch Dove genauer erforschten sogenannten Ladungsströme. Dies wird ohne weitere Erläuterung klar, wenn man bedenkt, daß die Ladung des sich von A' hinwegbegebenden Segmentes A fortwährend benutzt wird, um das sich nach A' hinbewegende Segment B sofort wieder zu laden. Dieselbe Elektrizitätsmenge wird fort und fort benutzt, um immer wieder denselben Condensator zu laden. Daß die Funken, welche durch Glanz und Schall sofort an die Leydener Flasche erinnern, wirklich zu dieser Klasse gehören, beweist Folgendes. Nähert man den Finger einer Hand allein dem Conductor m , so erhält man nur kleine, röthliche, stechende Fünkchen. Diese werden sofort länger und geben merkliche Erschütterungen, sobald man gleichzeitig mit der andern Hand n berührt.

Wird der Funkenzieher rs auf *sehr kleine* Schlagweite (0,1 bis 0^{mm},2) gestellt, so zeigt der continuirliche Strom

von Funken unter der Lupe eine deutliche Lichthülle, wie der Funken des Inductionsapparates.

5) Die folgenden Versuche beweisen, daß der Apparat die Elektrisirmaschine an quantitativer Leistung übertrifft. Verbindet man m mit der innern, n mit der äußeren Belegung einer Leydener Flasche, so wird dieselbe auffallend rasch geladen. Bei meinem kleinen Apparate ist eine ziemlich dickglasige Leydener Flasche von etwas mehr als 1 Quadratfuß Belegung in je $\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Secunden so stark geladen, daß zwischen r und s ein schmetternder Funken überschlägt, wenn auch der Abstand über $\frac{3}{4}$ Zoll beträgt. Ich habe mich daher des neuen Apparats mit großem Vortheil zur optischen Erkennung der Schallwellen in der Luft bedient¹⁾. Die Wellensphäroide, die sich in der Luft um den Funken der Flasche bilden, werden sogar noch besser sichtbar, als mit einem Ruhmkorff'schen Apparat von $1\frac{1}{2}$ Cm. Schlagweite.

Aus dem obenerwähnten Umständen erklärt es sich, warum bei diesem Apparat die Isolation bei weitem nicht so viele Schwierigkeiten verursacht, als bei der gewöhnlichen Elektrisirmaschine. Ich habe meinen Apparat stets willig gefunden, wenn er auch an allen Theilen mit Staub bedeckt war. Wenn man absichtlich von allen Klemmschrauben m , n' , l und l' Drähte auf die hölzerne Fußplatte herabhängen läßt, so erscheint doch bei rascher Rotation noch ein Funkenstrom zwischen rs , wenn nur dafür gesorgt wird, daß jene Drähte sich unter einander nicht berühren. In diesem Falle ist natürlich die Wirkung geschwächt, die Schlagweite aber immer noch $\frac{3}{8}$ Zoll.

Ein fernerer Vortheil des Apparats ist seine Beweglichkeit. Da die Glasscheiben als Schwungräder wirken, so erfordert der Apparat einen äußerst geringen Kraftaufwand, wenn die erforderliche Geschwindigkeit einmal erreicht ist. Die Reibung der Contactfedern obiger Construction ist verschwindend klein.

1) Siehe meine »Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode.«
Bonn 1864 bei Max Cohen u. Sohn.

6) Sehr gut eignet sich der Apparat zur Herstellung der Lichtphänomene im luftverdünnten Raume. Man kann die Geißler'schen Röhren unmittelbar mit m und n verbinden, weil dieselben den für die Thätigkeit des Regenerators nöthigen Widerstand ohne Weiteres bieten.

7) Legt man zwei Platindrähte in einiger Entfernung von einander auf ein befeuchtetes Lakmuspapier und verbindet diese Drähte mit m und n , jedoch so, daß zwischen m und dem Papierstreifen eine kleine Unterbrechung in der Leitung stattfindet, so macht sich auf dem Papier in wenigen Secunden die chemische Einwirkung deutlich sichtbar. War das Papier mit Iodkalium getränkt, so sieht man fast augenblicklich die Ausscheidung von Iod. Dieselbe beschränkt sich bei kleinem Widerstande in der Leitung auf den positiven Pol; ist jedoch die Unterbrechungsstelle groß so erscheinen auch Fünkchen auf dem Papier und dann scheidet sich auch stets etwas Iod am negativen Pol aus.

8) Magnetische Einwirkung konnte aus einem sehr einfachen Grunde *nicht* constatirt werden. Da zwischen m und dem Galvanoskop eine Unterbrechung nöthig war, so entstanden auf der langen Drahtleitung der mir zu Gebote stehenden Galvanoskope solche Spannungsdifferenzen, daß der Strom in Form von Funken von Windung zu Windung überschlug, wie der Augenschein sofort lehrte. Eine unmittelbare Verbindung von m und n ist aber nach Früherem nicht zulässig. Man kann zwar, nachdem der Apparat in volle Thätigkeit versetzt ist, den Regenerator ausschalten und dann die Pole durch das Galvanoskop schließen. Allein dann sinkt leider die Wirksamkeit in den ersten Umdrehungen schon auf ein Verschwindendes. Magnetische Effecte sind daher erst von dem Influenz-Elektromotor in der später anzudeutenden vollständigen Form zu erwarten.

9) Es versteht sich von selbst, daß man an den Polen m und n auch leicht die gewöhnlichen Spannungserscheinungen der Elektrisirmaschine nachweisen kann. Ueberhaupt wird man schon hier erkennen, daß die durch den

Apparat erzeugten Ströme quantitativ zwischen Elektrisirmaschine und Inductionsapparat liegen.

Theorie des Regenerators.

Es ist schon aus dem bisher über die Eigenthümlichkeiten des Apparates Gesagten klar, daß seine Leistung hauptsächlich von zweien durch die Construction gegebenen Umständen abhängen muß. Dieß ist einerseits das Größenverhältniß der rotirenden metallischen Flächen, andererseits sind es die Abstände dieser Flächen von den ruhenden Platten A' und a' (Fig. 2 Taf. V). Es ist nun von der größten Wichtigkeit für die Kenntniß und Beurtheilung des Apparates, diesen Zusammenhang zwischen der Leistung und den obigen Factoren zu ermitteln, um daraus Anhaltspunkte für die möglichst vortheilhafte Anordnung und Ausführung zu gewinnen. Eine erschöpfende Theorie läßt sich vorläufig von rein theoretischem Standpunkte aus dem Grunde nicht geben, weil meines Wissens noch kein bestimmter Ausdruck für die auf bindenden Metallflächen verdichteten Elektrizitätsmengen, in sofern dieselben eine Function des Abstandes der Flächen sind, existirt. Ich versuche es daher, in Folgendem die Theorie des Apparates aus einer indirecten Betrachtungsweise abzuleiten, welche den empirischen Gesetzen entspricht. Es ist dadurch wenigstens die Möglichkeit gegeben, die wesentlichen Constanten des Apparates zu ermitteln.

Da die Ladung des metallischen Segmentes auf der untern Seite von A' die Thätigkeit der stromgehenden Scheibe AB (Fig. 2 Taf. V) bedingt, so wird sich die Theorie am einfachsten in folgender Aufgabe fassen lassen: Es sollen die Veränderungen ermittelt werden, welche die Ladung der Platte A' im Laufe je einer halben Rotation erleidet.

Gehen wir von der Fig. 2 gezeichneten Mittelstellung als Ausgangspunkt für den Beginn je einer halben Rotation aus, so sind in dieser Stellung alle vier rotirenden metallischen Segmente isolirt, desgleichen die ruhenden Platten A' und a' ; die Klemmschrauben n und m' seyen mit

der Erde leitend verbunden. Wir denken uns den Apparat als bereits in Thätigkeit begriffen, so daß der obigen Anfangsstellung schon eine beliebige Anzahl von halben Rotationen vorausgegangen ist. Es ist dann sowohl auf der Platte A' , als dem Segmente a nach Früherem gleichnamige Elektricität vorhanden. Nach Beginn der nun folgenden ersten halben Rotation wird die auf a in verdichtetem Zustande befindliche Elektricität frei und kann während des Verlaufs der halben Rotation zum Theil auf A' gelangen. Die auf a und A' im Ganzen vorhandene Summe von Elektricität wollen wir der Art und Größe nach mit E bezeichnen, und untersuchen, wie dieses Ausgangsquantum sich bei rascher Rotation verändere. Man wird nun nach der früheren Erläuterung ohne Weiteres einsehen, daß sich bei jeder halben Rotation zweierlei ereignet.

I) Indem sich allmählich a in die Stellung von b bewegt, wird sich ein Gleichgewichtszustand auf A' und a herstellen; aber jedenfalls verbleibt ein Theil gespannter Elektricität auf a , welcher später als *Verlust* des Quantums E an f' und m' abgegeben wird.

II) Gleichzeitig giebt aber das Segment A während jeder halben Rotation seine Elektricität zum Theil über ch an a' ab. Das sich nähernde Segment b kann sich laden und bereitet so für den Anfang der zweiten halben Rotation einen *Gewinn* für das Ausgangsquantum E vor.

Es zerfällt also die Lösung in zwei Aufgaben: Bestimmung von obigem Verlust und Gewinn. Durch Addition dieser Beiden erhält man die wahre Größe des Zuwachses von E für eine halbe Rotation.

I. Es ist also zunächst die Frage, wie sich bis zu Ende der ersten halben Rotation, wo der oben genannte Verlust eintritt, E auf den Flächen A' und a lagern werde oder, allgemeiner gesprochen, wie sich E auf gegebenen Flächen lagern werde, wenn ein Theil der Flächen (A') unter Influenz (von A) steht. (a steht zu Ende der halben Rotation nicht mehr unter Influenz). Diese Frage läßt sich allgemein nicht lösen, denn selbst wenn man den Antheil

von E , welcher auf A' gebunden wird, durch Versuche ermitteln wollte und dann den Spannungsüberschuß nach den Poisson'schen Formeln als freie Elektrizität über A' und a vertheilen wollte, würde man voraussichtlich vom Thatbestande sehr fern bleiben, weil sich so viele metallische Flächen in der Nähe befinden, deren Einfluß sich nicht einmal abschätzen läßt.

Man kann aber indirect auf folgendem Wege zu brauchbaren Resultaten gelangen. Es sey y der auf a zu Ende der halben Rotation noch verbleibende Theil von E (wo also a in die Stelle von b gerückt ist), so drückt y zugleich den fraglichen Verlust aus. Es sey ferner x der Theil von E , welcher sich auf A' lagert, (zum Theil gebunden, zum Theil als Spannungsüberschuß), so ist

$$x + y = E \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Das x hat nun während der letzten Stadien der halben Drehung auf A ein Quantum entgegengesetzter Elektrizität herbeigezogen, welches sich ausdrücken läßt durch αE , wo α jedenfalls eine negative Zahl bedeutet, deren absoluter Werth < 1 ist. Ihr Werth ist von dem Abstände der Flächen abhängig; jedenfalls ändert sie sich während der Thätigkeit des Apparates nicht. Hierdurch ist ein Theil von x rückgebunden, welcher sich bekanntlich ausdrückt durch $x\alpha^2$; der Spannungsüberschuß auf A' ist somit $= x(1 - \alpha^2)$. Wenn sich nun auch nicht behaupten läßt, daß dieser Spannungsüberschuß sich auf A' nach den Gesetzen der freien Spannung anordnet, so läßt sich doch vermuthen, daß dieser Spannungsüberschuß größer als y ist, da die Fläche A' um vieles größer als a ist. Welches aber auch die Anordnung der überhaupt vorhandenen gespannten Elektrizität über A' und a seyn mag: wir können das Verhältniß von y zum Spannungsüberschuß auf $A = \beta$ setzen, wobei wir wissen, daß β jedenfalls eine positive Zahl ist, deren GröÙe bei ein und demselben Apparat für alle halbe Rotationen gleich bleibt. Wir haben somit

$$x(1 - \alpha^2) = \beta y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Aus (1) und (2) folgt:

$$x = \frac{\beta}{1 + \beta - \alpha^2} \cdot E \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$y = \frac{1 - \alpha^2}{1 + \beta - \alpha^2} \cdot E \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

y drückt also den fraglichen Verlust aus, während x das Quantum ist, welches jedenfalls auf A' verbleibt. Wie wir sehen werden, lassen sich die Coëfficienten α und β aus der Thätigkeit des Apparates selbst ermitteln.

II. Die über a auf A gebundene entgegengesetzte Electricität war ausgedrückt durch

$$\alpha x = \frac{\alpha \beta}{1 + \beta - \alpha^2} \cdot E \quad . \quad . \quad . \quad (5).$$

Wir nehmen nun gleich den Fall an, daß sich, was allerdings beim Gebrauch des Apparates eintreten wird, auf a' keinerlei Rückstand von vorübergehender Ladung befinde, so daß wir also voraussetzen, es werde der Conductor k zu Ende jeder halben Rotation vollständig entladen. Nun ist es das obige Quantum αx , welches im Verlauf frei wird, zum Theil auf a' gelangt und das sich nähernde Segment b für die zweite halbe Rotation ladet. Wie man sofort sieht, haben wir es hier genau mit derselben Aufgabe zu thun, wie oben: Vertheilung gegebener Electricität αx auf zwei Flächen, von denen eine (a') unter Influenz steht. Nennen wir daher wie oben x' , den auf a' kommenden gesammten Antheil, zum Theil gebunden, zum Theil als Spannungsüberschuß, y' denjenigen Theil, welcher auf A (zu Ende der halben Rotation) bleibt, so ist zunächst

$$x' + y' = \frac{\alpha \beta}{1 + \beta - \alpha^2} \cdot E \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

Es ist nun ohne Weiteres klar, daß man die Entfernung der Flächen a' und a ebenso groß wählen wird als bei A' und A (und zwar so groß, daß keine erheblichen Verluste durch Ueberschlagen von Funken stattfinden). Ist diese Bedingung erfüllt, was sich leicht erreichen läßt, so gilt für die Bindung auf a' derselbe Coëfficient α , wie oben, und es ist somit der Spannungsüberschuß auf a' ausge-

drückt durch $x'(1 - \alpha^2)$, während die Gebundene $x'\alpha^2$ ist. Es steht ferner das Segment A zu der Belegung auf α' in demselben Größenverhältniss, wie die Belegung auf A' zum Segmente α . (Die Belegungen auf A' und α' sind nämlich wie schon bemerkt, durch punktirte Linien angedeutet und gerade so groß als die darüber schwebenden Segmente). Da sich nun zu Ende der halben Rotation A und α' auch in derselben relativen Lage zu einander befinden, als A' zu α , so kann man ohne erheblichen Fehler annehmen, daß die Anordnung der freien Elektrizität auf A und α' sich gestalten werde, wie früher auf A' und α angenommen wurde; d. h. es wird, weil hier α' die kleinere Fläche ist:

$$x'(1 - \alpha^2) : y' = 1 : \beta$$

oder

$$x'(1 - \alpha^2) = \frac{y'}{\beta} \dots \dots \dots (7).$$

Aus (6) und (7) folgt nun:

$$x' = \frac{\alpha\beta}{(1+\beta-\beta\alpha^2)(1+\beta-\alpha^2)} \cdot E \dots \dots (8)$$

$$y' = \frac{\alpha\beta^2(1-\alpha^2)}{(1+\beta-\beta\alpha^2)(1+\beta-\alpha^2)} \cdot E \dots \dots (9).$$

Es ist bei der bisherigen Auseinandersetzung von der Ladung der Drähte und metallischen Verbindungsstücke, wie dies auch wohl füglich geschehen kann, allerdings abgesehen worden. Bei den später zu erwähnenden Messungen zur Bestimmung von α und β wurden, um auf beiden Seiten des Apparates möglichst gleiche Vertheilung der Metallmassen zu haben die r und s weggelassen.

Während nun endlich b sich in der ersten halben Rotation über α' bewegt, ladet es sich mit einem Quantum, welches nach Obigem gegeben ist durch

$$\alpha x' = \frac{\alpha^2\beta}{(1+\beta-\beta\alpha^2)(1+\beta-\alpha^2)} \cdot E \dots \dots (10)$$

Dies ist nun offenbar der Zuwachs, welcher für die nächste halbe Rotation zum Theil wieder auf A' übergehen kann usw. Der Zuwachs ist mit E gleichnamig in Bezug auf das Vorzeichen, denn im Zähler kommt α nur in der

zweiten Potenz vor, im Nenner nur als $(1 - \alpha^2)$; letzteres ist stets größer als 0, wie aus der Bedeutung von α hervorgeht. Das Ausgangsquantum E erleidet also in jeder halben Rotation ruckweise Verlust und Zuwachs. Bei raschem Gange kann man diese beiden als zusammenfallend betrachten und man erhält anstatt des anfänglichen E ein Neues, welches E' heiße:

$$E' = E - y + \alpha x', \text{ oder, da } E - y = x \\ E' = x + \alpha x'.$$

Setzt man die Werthe aus Gleichungen (3) und (10) ein, so folgt:

$$E' = \left(1 + \frac{\alpha^2}{1 + \beta - \beta\alpha^2}\right) \frac{\beta}{1 + \beta - \alpha^2} \cdot E \\ = \frac{\beta(1 + \beta + \alpha^2 - \beta\alpha^2)}{(1 + \beta - \alpha^2)(1 + \beta - \beta\alpha^2)} \cdot E \quad (11).$$

Da α und β constant für alle Spannungen bleiben, so folgt also das Getsetz, daß die Spannungen auf A' , welche mit E proportional sind, nach einer geometrischen Reihe wachsen, deren Exponent:

$$c = \frac{\beta(1 + \beta + \alpha^2 - \beta\alpha^2)}{(1 + \beta - \alpha^2)(1 + \beta - \beta\alpha^2)} \quad . \quad . \quad (12).$$

Sind die constructiven Verhältnisse so gewählt, daß c größer als 1 ist, so müßte also die Spannung auf A' ins Unendliche wachsen können. Allein die unvermeidlichen Verluste wachsen bekanntlich mit zunehmender Spannung so rasch, daß sich bald ein Gleichgewichtszustand herstellen wird. Auf A' muß sich also in kurzer Zeit ein Ladungsmaximum einstellen.

Die obige Entwicklung bezieht sich ausdrücklich auf den Fall, in welchem zu Ende jeder halben Rotation der Conductor h ganz entladen wird. Ist nun in diesem Falle $c > 1$, so wird die Steigerung noch um so mehr gefördert werden, wenn, wie es bei der Inangsetzung des Apparates der Fall ist, noch keine Entladungen zwischen m und n (Fig. 2 Taf. V) stattfinden. Desgleichen wird man erkennen, daß, wenn m und n dauernd verbunden werden, auch bei sehr großem Widerstande in der Leitung noch immer

eine Thätigkeit des Apparates möglich seyn muß, wenn nur die Spannung auf h nicht unter eine gewisse Gränze sinkt.

Bestimmung der Constanten.

Zunächst nun war es mir von Interesse, für den Apparat in der Form und Grösse, wie er oben beschrieben wurde, die Constanten zu ermitteln. α und c sind in der That der unmittelbaren empirischen Bestimmung zugänglich, aus der Gleichung (12) findet sich daher auch β .

Was zunächst α betrifft, so ist dieses gleichsam der Maassstab für das bindende oder condensirende Vermögen der Flächen im Augenblick ihrer grössten Annäherung. Man könnte diese Constante überhaupt für zwei gegebene Flächen den Influenz-Modul derselben nennen, so lange das Gesetz für die Abhängigkeit vom Abstände der Flächen noch nicht gefunden ist. Wie schon oben bemerkt haben die Metallflächen A' und A , ferner a' und a bei gewöhnlichem Gebrauch meines Apparates einen Abstand von 8^{mm}. Für diesen Abstand wurde das α folgendermaassen bestimmt:

Die Verbindungsdrähte von l nach n' und von m nach l' (Fig. 2 Taf. V) wurden ganz entfernt, und hierauf das Plattenpaar $A'A$ in der, in der Figur gezeichneten Stellung, schwach geladen, indem l mehrmals mit einer elektrisirten Harzstange und gleichzeitig A mit dem Finger ableitend berührt wurde. Nachdem hierauf von der Klemmschraube l mittelst einer Probirscheibe eine Probe genommen, und auf ein Dellmann'sches Elektrometer ohne Condensator übertragen worden, las man die Torsion ab. Nachdem das Elektrometer wieder entladen war, versetzte man durch eine rasche halbe Rotation das Segment A in die Lage von B jedoch so, daß die Feder e noch in Contact mit dem Ende des ringförmigen Streifens q blieb. Hierauf wurde die Spannung auf der Klemmschraube m gemessen, indem die nunmehr viel stärker ausweichende Nadel auf denselben Ausschlag, wie oben zurückgebracht wurde. Ich muß hier bemerken, daß bei meinem Apparat die Klemmschraube m

fast genau gleichen Abstand von der Rotationsaxe hat als l , kurz, daß m und l eine symmetrische Stellung zur Scheibe AB haben. Ferner waren zur Vorsicht die Arme r und s ganz weggelassen; die Berührung mit der Probescheibe geschah natürlich möglichst in derselben Weise. Weil bei diesen Cautelen die beiden Metallflächen nahezu dieselbe Größe und Lage haben, dürfte wohl das Resultat brauchbar seyn. Das Mittel aus 10 wiederholten Ablesungen gab als Verhältniß für die Torsionen

$$29^\circ : 134^\circ = 1 : 4,62.$$

Bei l wurde also nur der Spannungsüberschuß von A' , bei m jedoch die Spannung vermittelt, welche die in Freiheit gesetzte Elektrizität auf A annimmt. Wir haben somit die Gleichung:

$$1 - \alpha^2 : \alpha = 1 : \sqrt{4,62} = 1 : 2,15,$$

da sich die Spannungen verhalten wie die Quadrat-Wurzeln der Torsionen. Daher folgt:

$$\alpha^2 + \frac{\alpha}{2,15} = 1 \text{ oder } \alpha = \frac{-1 \pm \sqrt{19,49}}{4,30}.$$

Hiervon ist nur der Werth, welcher negativ und absolut genommen kleiner als 1 ist, zu brauchen; somit ist

$$\alpha = -0,791.$$

Stehen also zwei ebene Metallflächen 8^{mm} von einander ab, und man ertheilt der einen eine Ladung $= 1$, so kann auf der andern 0,791 der entgegengesetzten Elektrizität vollständig gebunden werden.

Das obige Verhältniß $1 - \alpha^2 : \alpha$ ist dasselbe, welches Kohlrausch den Grad der Condensirung oder die Verstärkungszahl eines Condensators nennt. Man darf sich nicht wundern, daß sie in unserem Falle nur $= 2,15$ ist da die Metallflächen soweit von einander abstehen. Kohlrausch fand diese Zahl bei einem Condensator, dessen kreisförmige Platten $5\frac{1}{2}$ Pariser Zoll im Durchmesser hatten, zu 261. Es waren hier die bindenden Metallflächen nur durch eine sehr dünne Firnißlage von einander getrennt. (Siehe Pogg. Ann. Bd. 75, S. 94). Leider ist der Abstand der Plat-

ten nicht genauer angegeben. Man sieht aber welchen enormen Einfluß dieser Abstand haben muß.

Es blieb nun noch übrig die Constante c (Gleichung 12) zu ermitteln. Ihr Werth findet sich ganz einfach, indem man die Verbindungsdrähte ln' und hl' wieder anschraubt und den Apparat mit einer ganz schwachen Gabe Elektrizität bei l geladen in Thätigkeit setzt. Das Verhältniß der Spannungen auf A in den correspondirenden Momenten zweier auf einander folgender halber Rotationen liefert c . Die Proben wurden wieder bei l genommen und zwar wurde zwischen je zwei Proben eine ganze Rotation vollführt, so daß sich unmittelbar nicht c , sondern c^2 ergab. Ich bemerke ausdrücklich, daß hierbei zu Ende jeder halben Rotation der Conductor h ganz entladen wurde, weil unter dieser Voraussetzung die obigen Formeln entwickelt sind.

Das Verhältniß der Torsionen für gleichen Ausschlag ergab im Mittel von 10 Beobachtungen, welche im Allgemeinen besser als die vorigen übereinstimmten

$$100 : 175,51; \text{ also}$$

$$1 : c^2 = 1 : \sqrt{1,7551}$$

$$c = \sqrt[4]{1,7551} = 1,151$$

Bei schwacher Ladung, so lange der Verlust noch unwesentlich, nimmt also die Spannung auf A thatsächlich ziemlich rasch zu. Sie verdoppelt sich schon in $2\frac{1}{2}$ Rotationen.

Der Werth von β ermittelt sich endlich aus der Gleichung (12). Diese nach β entwickelt, giebt:

$$\beta^2 (1 - \alpha^2) (1 - \alpha) + \beta [1 + \alpha^2 - c - c (1 - \alpha^2)^2] = c (1 - \alpha^2)$$

$$\text{oder } \beta = \frac{-0,3125 \pm \sqrt{0,09765 - 0,09739}}{-0,1130}$$

$$\beta = 2,76 \pm \frac{\sqrt{0,00026}}{0,113}$$

Da β das Verhältniß bedeutet, in welchem sich eine gegebene Menge freier Elektrizität über zwei ungleich große Flächen, die metallisch verbunden sind, anordnet, so wird

man erkennen, daß *a priori* nur ein einziges Verhältniß möglich seyn kann. Wenn nun die obige Rechnung zwei Werthe giebt, so kommt dies nur daher, weil β indirect empirisch ermittelt ist. Der Wurzelwerth ist sehr klein und würde bei Ausschluss aller Beobachtungsfehler wahrscheinlich $= 0$ werden.

Mit Recht darf daher

$$\beta = 2,76$$

als ein brauchbarer Näherungswerth betrachtet werden. Diese Anschauung wird auch dadurch bestätigt, daß bei wiederholter Bestimmung der Constanten für andere Abstände der Platten der absolute Werth unter dem Wurzelzeichen um 0 herumschwankte, während die Zahl vor der Wurzel verhältnißmäßig wenig geändert erschien.

Die Zahl 2,76 ist kleiner, als das Größenverhältniß der Flächen, und dies stimmt auch ganz gut mit den bekannten Gesetzen über die Anordnung gespannter Elektricität auf metallischen Oberflächen.

Aus der Form des Ausdruckes für c , wie er in Gleichung (12) gegeben ist, kann man unmittelbar die Anhaltspunkte für die möglichst vortheilhafte Construction des Apparates ersehen. Zunächst erkennt man, daß c mit wachsendem absolutem Werth von α zunimmt; dies ergibt sich ohne weitere Erklärung aus der Form

$$c = \left(1 + \frac{\alpha^2}{1 + \beta - \beta\alpha^2}\right) \frac{\beta}{1 + \beta - \alpha^2}.$$

Der Influenzmodul α wächst aber bekanntlich, je näher die influirenden Flächen stehen. Die Gränze der Annäherung ist aber durch das schon mehrmals erwähnte Ueberspringen von Funken gegeben. Aber selbst in dem Falle, daß man die Flächen bis zur Berührung nähern könnte, würde dennoch c nicht über eine gewisse Gränze wachsen können, denn in diesem Falle ist $\alpha = 1$; also

$$c = \frac{2\beta}{1 + \beta}.$$

Ueber diesen Werth kann bei gegebenen Dimensionen, also bei gegebenem β die Steigerung pro halbe Rotation

überhaupt nie wachsen. Dieses Maximum wäre für meinen Apparat $c = 1,47$.

Ferner kann man daran denken, das c möglichst groß zu machen durch möglichst günstige Wahl für das Größenverhältniß der Segmente A und B zu den Segmenten a und b , weil hierdurch β bestimmt ist.

Wenn β veränderlich gedacht wird, so ergibt sich ein Maximum von c für

$$\frac{dc}{d\beta} = (1 - 3\alpha^2 + \alpha^4)\beta^2 + 2(1 - \alpha^2)\beta + 1 - \alpha^2 = 0;$$

daraus

$$\beta = \frac{-(1 - \alpha^2) \pm \alpha^2 \sqrt{3 - \alpha^2}}{1 - 3\alpha^2 + \alpha^4}.$$

Soll also c möglichst groß werden, so müßte bei dem obigen Werth von $\alpha = -0,791$

$$\beta = \frac{-0,3743 \pm 0,9636}{-0,4856} = 2,75,$$

da β nur positiven Werth haben kann. Dieser Werth ist ein absolutes Maximum, weil

$$\frac{d^2c}{d\beta^2} = 2\beta(1 - 3\alpha^2 + \alpha^4) - 2(1 - \alpha^2)$$

negativ wird.

Dieser Werth von β stimmt nun rein zufällig sehr nahe mit dem oben entwickelten β meines Apparates überein. Wenn also die mitgetheilten Messungen richtig sind, so würde ich durch einen auffällig günstigen Zufall bei meinem Apparate das Flächenverhältniß von A und B zu a und $b = 1 : 3\frac{1}{4}$ gerade am vortheilhaftesten getroffen haben. Leider muß ich gestehen, daß das von mir benutzte Elektrometer durchaus nicht zu den vollkommensten seiner Art gehörte, und es würde mich sehr interessiren, meine Messungen bei anderen Apparaten wiederholt zu sehen. Schließ- lich bemerke ich noch, daß der Apparat durchaus nicht unwirksam wird, wenn sich auch das Flächenverhältniß sehr von obigem günstigsten Werth entfernt. Für gleich große Scheiben z. B. wird β voraussichtlich 1 seyn; also

$$c = \frac{2}{(2 - \alpha^2)^2} = 1,059$$

wenn wir dasselbe α , wie oben voraussetzen. Der Apparat wirkt also noch bei gleich großen rotirenden Scheiben, wenn auch viel schwächer.

Es wurde in den vorausgegangenen Abschnitten mehrmals darauf hingewiesen, daß sich der Apparat noch wesentlich vervollkommen lasse. Es leidet die Form, wie sie in Fig. 2 Taf. V gegeben ist, noch an dem erheblichen Mangel, daß die Pole mn nicht vollständig geschlossen werden können, weil sich hierbei der Apparat in kurzer Zeit ganz entladet. Es liegt nun der Weg sehr nahe, der zur Vermeidung dieses Mangels führt. Da der Conductor h (Fig. 2 Taf. V) als eine fortdauernde reichliche Quelle gespannter Elektrizität angesehen werden darf, so braucht man denselben nur dauernd mit einem zweiten Apparat der Art, wie Fig. 1 und zwar bei l (Fig. 1) zu verbinden. Dann wird man bei mn (Fig. 1) einen andauernden Strom erhalten, welcher auch bei vollkommener Schließung thätig bleibt. Beide Apparate lassen sich aber selbstverständlich auf einer Axe vereinigen. Ich schlage daher eine Form vor, welche in Fig. 3 schematisch im Grundriss dargestellt ist. Sie bietet in Bezug auf Compactheit und möglichste Ausnutzung der metallischen Oberflächen manche Vortheile. RR ist auch hier die Rotationsaxe, welche als horizontal liegend angenommen ist. Auf dieser Axe sind zunächst zwei Scheiben AB und ab befestigt, welche zusammen eine getreue Copie des Apparates Fig. 2 darstellen. Auch hier sind A' und a' ruhende Platten, kurz, alle Buchstaben haben denselben Sinn, wie in Fig. 2 (Einzelne Theile, welche die Uebersicht stören könnten, sind in der Figur weggelassen). Der Conductor h giebt also, nachdem A' schwach negativ geladen ist, fortwährend $+$ Elektrizität. Auf derselben Axe ist aber außerdem eine Zahl von Scheiben $b\ b_1 \dots b_i$ befestigt, welche wie AB zwei metallische Segmente und zwar auf beiden Oberflächen tragen. Zwischen diese Scheiben hinein ragen eben so viele ruhende, isolirte Platten $cc_1 \dots cc_i$.

Jede derselben besteht aus zwei aufeinander gekitteten dünnen Glasscheiben, welche zwischen sich ein nicht ganz bis an den Rand reichendes Segment von Folie einschließen. Durch diese Anordnung ist eine Entladung zwischen den ruhenden und rotirenden Scheiben nicht möglich. Alle die eingekitteten ruhenden Belege sind mit dem Conductor r leitend verbunden. Auf diese Weise wird jedes Segment nach beiden Seiten bindend wirken und man erreicht mit derselben Oberfläche das Doppelte. Auf der abgewendeten Seite nun kann man zwei Systeme von Contactfedern wie früher anbringen, von denen nur das eine in der Zeichnung sichtbar ist, indem das andere unterhalb liegt. Es versteht sich von selbst, daß die Scheiben bb_1 etc. an den Rändern, wo die Federn tt_1 schleifen, nicht gefirnist seyn dürfen. r wird nun von m aus positiv geladen. Auf dem Conductor s wird also fortwährend — El. frei, wenn das in der Figur nicht gezeichnete System von Contactfedern s' so lange mit dem Boden verbunden wird, bis die Ladung von r und den ruhenden Platten ihr Maximum erreicht hat. Bei dieser Anordnung finden von den Platten cc_1 etc. nur die Verluste durch unvollkommene Isolirung statt, welche einzig und allein von m aus zu decken sind. Die Systeme von Contactfedern s und s' können hier nun vollkommen leitend verbunden werden, und man wird einen continuirlichen Strom erhalten, wenn die Scheiben bb_1 etc. so gestellt sind, daß die Unterbrechungsstellen in keiner Lage zusammenfallen. Setzen wir die Zahl der Scheiben c etc. zu 10 und ihren Durchmesser wie den von AB (siehe oben) voraus, so werden je zwei Scheiben 16^{mm} von einander abstehen, wodurch dann allerdings die Schlagweite nicht größer, als früher angegeben ausfallen würde. Der Apparat würde aber dann schon pro Secunde 25 obiger Flaschenladungen liefern, da man bei letzterwähnter Anordnung die Wirksamkeit als proportional der doppelten Scheibenzahl, (verglichen mit dem Apparat Fig. 2) voraussetzen darf. Der Apparat dürfte dann, obwohl immer noch sehr

compendiös in seiner quantitativen Leistung dem kräftigsten Inductionsapparat kaum nachstehen.

Ein Apparat dieser Art wird für das physikalische Cabinet des hiesigen Polytechnikums ausgeführt und es soll seiner Zeit über seine Leistungen in gleicher Weise berichtet werden ¹⁾).

- 1) Bei Veröffentlichung dieses Aufsatzes kann ich nicht unterlassen, hinzuzufügen, daß Hr. Particulier Holtz, hier in Berlin, schon vor längerer Zeit einen auf dem Princip der Influenz beruhenden Apparat erfunden hat, der im Wesentlichen mit dem des Hrn. Dr. Töpler zusammenfällt, jedoch mehr auf Steigerung der Intensität berechnet ist und in dieser Beziehung Außerordentliches leistet. Ich habe von diesem Apparat, den Hr. H. nächstens in den *Annalen* ausführlich beschreiben wird, bereits in den Monatsberichten der Akademie vom April dieses Jahres eine kurze Nachricht gegeben und auch dabei bemerkt, daß der Engländer Goodman in Birmingham vor mehr als 20 Jahren, jedoch alleinig zu dem verfehlten Zweck der Wasserzersetzung und mit einer wesentlich verschiedenen, sehr unvortheilhaften Anwendung des Influenzprincips, einen ähnlichen Apparat construiert hat (Siehe Sturgeon, *Ann. of Electricity Vol. VI* (1841) p. 97).

VII. Ueber den specifischen Leitungswiderstand der Metalle, bezogen auf die von der British Association angenommene Widerstandseinheit, nebst einigen Bemerkungen über die sogenannte Quecksilbereinheit; von A. Matthiesen.

Da die von der *British Association*¹⁾ adoptirte Widerstandseinheit ohne Zweifel in allgemeinen Gebrauch kommen wird, so dürfte es am Platze erscheinen, den auf dieselbe bezogenen Widerstandswerth der Metalle und einiger Legirungen zu geben. In Gemeinschaft mit Hrn. Hockin habe ich solche Bestimmungen für gewisse Längen und Gewichte verschiedener Metalle und einer Legirung ausgeführt²⁾; werden dieselben auf dieselbe Länge und dasselbe Gewicht reducirt, nämlich auf 1 Meter Länge und 1 Grm. Gewicht, so waren die Widerstände für hartgezogene Drähte, wie folgt:

Tabelle I.

	Widerstand, bezogen auf die B. A. Einheit (1864).
Kupfer	0,1469
Silber	0,1689
Gold	0,4150
Blei	2,257
Quecksilber	13,071
Gold-Silber-Legirung	1,668

Diese Werthe werden von W. Thomson und Jenkin die specifischen Leitungswiderstände der Metalle bei 0° C. genannt, bezogen auf Einheit der Masse und Länge.

Bei Ausführung der obigen Bestimmungen dachten wir nicht daran, das specifische Gewicht der angewandten Drähte

1) Im Folgenden abgekürzt B. A.

2) Diese noch nicht veröffentlichten Experimente werden sich finden in dem Reporte 1864 des Comité's, welches von der B. A. ernannt war, um über elektrische Einheitsmaasse Bericht abzustatten.

zu bestimmen, da es nur in unserer Absicht lag, zu erfahren, bis zu welcher Genauigkeit wir Widerstandsmaasse mit Drähten obiger Metalle nachbilden könnten. Wir bedienten uns bei der Berechnung lieber der Länge und des Gewichtes, als der Länge und des Durchschnitts in der Ansicht, daß sich das Gewicht eines Drahtes genauer als sein Durchschnitt bestimmen läßt, mag nun der letztere aus directen Messungen des Durchmessers abgeleitet worden seyn, oder mit Hülfe des specifischen Gewichtes, welches letzteres Verfahren noch einen gewissen Fehler einschließt. Bei dem Bestreben, Widerstandsmaasse darzustellen, ist es selbstverständlich gerathen, alle nicht unumgänglich nothwendigen Zahlenwerthe von der Benutzung auszuschließen; und es ist wenigstens ebenso gut, und sicherlich eine genauere Methode, den Widerstand mit Hülfe von Länge und Gewicht, anstatt mit Hülfe von Länge und Durchschnitt abzuleiten.

Aus dem eben erwähnten Grunde lassen sich die obigen Werthe nicht mit frühern Bestimmungen vergleichen. Annähernd können wir dieß beim Gebrauch der nachfolgenden specifischen Gewichte thun:

Tabelle II.

		Widerstand hartzogener Drähte von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser homogen auf die B. A. Einheit	Leitfähigkeit
	spec. Gewicht		
Silber	10,50 ¹⁾	0,02048	48,83
Kupfer	8,95 ²⁾	0,02090	47,85
Gold	19,27 ²⁾	0,02742	36,47
Blei	11,391 ²⁾	0,2527	3,957
Quecksilber	13,595	1,224	0,8172
Gold-Silber-Legirung	15,180 ³⁾	0,1399	7,148

Wenn wir die Leitfähigkeit der Gold-Silberlegirung 7,148 = 15,03 annehmen, so stellen sich folgende Zahlen

- 1) Von gegossenem Metall.
- 2) Des gegossenen Metalles.
- 3) Des Drahtes.

für das Leitungsvermögen der Metalle und einiger ihrer Legirungen heraus:

Tabelle III.

(Alle Temperaturen 0° C.)¹⁾

	Specifischer Widerstand			Specifische Leitfähigkeit		
	von einem Meter Länge und einem Millimeter Durchmesser, bezogen auf die B. A. Einheit.					
	Hartgezogen	Geprefst	Vweich	Hartgezogen	Geprefst	Vweich
Silber	0,02103	.	0,01937	47,56	.	51,63
Kupfer	0,02104	.	0,02057	47,53	.	48,61
Gold	0,02697	.	0,02650	37,08	.	37,73
Aluminium	.	.	0,03751	.	.	26,66
Magnesium	.	.	0,05106	.	.	19,98
Zink	.	0,07244	.	.	13,80	.
Kadmium	.	0,08865	.	.	11,28	.
Palladium	.	.	0,1140	.	.	8,77
Platin	.	.	0,1166	.	.	8,58
Kobalt	.	.	0,1221	.	.	8,19
Eisen	.	.	0,1251	.	.	7,99
Nickel	.	.	0,1604	.	.	6,23
Zinn	.	0,1701	.	.	5,88	.
Thallium	.	0,2296	.	.	4,36	.
Blei	.	0,2527	.	.	3,96	.
Arsenik	.	0,1417	.	.	2,27	.
Antimon	.	0,4571	.	.	2,19	.
Wismuth	.	1,689	.	.	0,591	.
Quecksilber	.	.	1,270	.	.	0,788
Platin-Silber-Legirung	.	0,3140	.	3,18	.	.
Neusilber	.	0,2695	.	3,71	.	.
Gold-Silber-Legirung	0,1390	.	.	7,148	.	.

Die Platin-Silberlegirung, welche 66,6 Proc. Silber enthält, ist diejenige Legirung, welche für Anfertigung von Copien angewandt ist²⁾. Vergleichen wir diese abgeleiteten Werthe mit den in Tabelle II gegebenen wirklich gefundenen, so stellt sich beim Silber eine Differenz von ungefähr 3 Proc. heraus. Eine Erklärung hiefür ist der Umstand, daß der Draht auf eine eigenthümliche Weise ge-

1) Pogg. Ann. Bd. 122, S. 71.

2) Report of the British Association 1864.

zogen wurde, und in einer andern Abhandlung¹⁾, auf die ich verweise, finden sich gleiche Unterschiede in den Werthen für die Leitfähigkeit des Silbers. Die Differenzen in den übrigen Fällen werden hauptsächlich davon herrühren, daß nicht die wahren specifischen Gewichte benutzt sind; so z. B. nahm ich das specifische Gewicht des Kupfers zu 8,95 an. Siemens fand²⁾, daß Kupferdraht zwischen 8,89 und 8,92 variirt; bei Benutzung des Werthes 8,91 ist das Leitungsvermögen 67,64. Nehmen wir ferner anstatt 19,27. das specifische Gewicht des Goldes zu 19,4 an, da nach Gmelin's Lehrbuch der Chemie die Eigenschwere von Golddraht zwischen 19,3 und 19,4 schwankt, so erhalten wir für seine Leitfähigkeit 36,72. Die Differenzen, welche sich in den Werthen für das Quecksilber zeigen (ungefähr 3 Proc.) beweisen, wie schwierig es ist, gute Resultate mit diesem Metalle zu erhalten, wenn eine nicht mehr als gewöhnliche Sorgfalt auf die Experimente verwandt wird. Ohne Zweifel sind diese Unterschiede auf die Art und Weise zurückzuführen, in welcher ich die für meine ersten Versuche³⁾ (veröffentlicht 1858) benutzten Röhren calibrete und ihren Durchmesser ableitete; und als ich später⁴⁾ den Einfluß der Temperatur auf die Leitfähigkeit des Quecksilbers bestimmte, wobei für die eine stets benutzte Röhre nahezu dieselben Resultate erhalten wurden, hielt ich es nicht der Mühe werth, die Bestimmungen zu wiederholen. Der von Hockin und mir angegebene Werth wird, wie ich zeigen will, wahrscheinlich der richtige seyn.

In meinen Abhandlungen über das Leitvermögen von Metallen und Legirungen habe ich als ein leicht zugängliches und practisches Mittel die Anwendung der Gold-Silberlegirung befürwortet, wo es sich bei Aufwendung von nur gewöhnlicher Sorgfalt darum handelt, Widerstandsmaasse darzustellen. Diese meine Angaben bestätigen sich

1) Pogg. Ann. CXV, S. 361.

2) Pogg. Ann. CX, S. 18.

3) Pogg. Ann. CIII, S. 430.

4) Pogg. Ann. CXV, S. 384.

hier wieder, da die Werthe, welche mittelst eines solchen Widerstandes abgeleitet sind, gut mit den alten übereinstimmen, besonders das Blei, ein Metall, das von Hockin und mir, besonders für die Darstellung von Widerstandsmaassen empfohlen ist, wenn grösse Vorsicht beobachtet wird ¹⁾. Man darf wohl nicht erwarten, dass Jemand jetzt irgend eine andere Einheit wird darstellen und einführen wollen, nachdem die B. A. Einheit ²⁾ aufgestellt; denu man wird sicherlich nicht (will man nicht *ganz aussergewöhnliche Mühe und Geld* aufwenden) genauere Maasse reproduciren können, als diejenigen, welche gegenwärtig von dem von der B. A. eingesetzten Comité verabfolgt werden; als Beweis für diese Behauptung möchte ich ganz besonders die Aufmerksamkeit derjenigen, welche sich um die Darstellung einer Einheit bemühen, erstens auf die Berichte lenken, welche von dem Comité in den Verhandlungen der B. A. veröffentlicht sind, und zweitens auf die folgenden Bemerkungen über die sogenannte Quecksilbereinheit.

Diese Quecksilbereinheit soll den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadrat-Millimeter Durchschnitt bei 0° C. repräsentiren.

Man kann nun behaupten:

- 1) *dass keine wahre Quecksilbereinheit je aufgestellt ist;*
- 2) *dass die von Zeit zu Zeit aufgestellten Einheiten nicht denselben Widerstand repräsentiren.*

- 1) *Es ist nie eine wahre Quecksilbereinheit aufgestellt.*

Diese Behauptung gründet sich auf die Thatsache, dass für die Berechnungen ein falsches specifisches Gewicht für das Quecksilber gebraucht ist, nämlich 13,557 bei 0° C. statt 13,595, wie es von Regnault, Kopp, Balfour Stewart und Neumann bestimmt ist. Alle diese Forscher geben denselben Werth für die Eigenschwere des Quecksilbers,

- 1) Das spec. Gew. von Blei soll sich durch Hämmern oder Ausrollen nicht ändern. (Reich, Journ. f. pract. Chemie LXVIII, S. 730.)
- 2) Copien können von dem Secretär des Comité's, Hrn. Fl. Jenkin, 6 Duke Street. Adelphi, London, gegen Einsendung von £ 2, 10 sh. bezogen werden.

verglichen mit Wasser von 4° C. (Ihre verschiedenen Angaben weichen nur auf- und abwärts um 0,007 Proc. vom obigen Werthe ab; das Maximum ist 13,596, das Minimum 13,594).

Hieraus läßt sich folgern, dafs entweder keine wahre Quecksilbereinheit aufgestellt ist, oder dafs, wenn 13,557 das specifische Gewicht des Quecksilber ist; die Versuche von Regnault, Kopp, B. Stewart und andern durchaus ungenau sind, eine Annahme, die höchst gewagt erscheint; ja wir gelangen unwillkürlich zur Ueberzeugung dafs unmöglich alle diese ausgezeichneten Beobachter solche Fehler begangen haben sollten, dafs der benutzte Werth 13,557 unrichtig seyn muß, und dafs die aufgestellten Einheiten bei der Annahme, dafs alle übrigen Bestimmungen correct sind, einen ungefähr 0,3 Proc. größern Widerstand haben, als er seyn sollte.

2) *Die von Zeit zu Zeit aufgestellten Einheiten repräsentiren nicht denselben Widerstand.* — In der Londoner Ausstellung im Jahre 1862 befanden sich zwei Sätze von Widerstandmaafsen, bezogen auf die Quecksilbereinheit; der eine Satz war von Siemens in Berlin, der andere von Siemens in London ausgestellt; wurden dieselben mit einander verglichen, so wichen sie um 1,2 Proc. von einander ab. Der Werth dieser zwei Einheiten, bezogen auf die B. A. Einheit, ist

Siemens (London) 0,9742

Siemens (Berlin) 0,9625

und auf folgende Weise erhalten:

F. Jenkin führt in seinem Report ¹⁾ über die auf Electricität bezüglichen Instrumente die Werthe von mehreren Widerstandsetzungen an, und wenn man dieselben durchgeht so wird man finden, dafs der Widerstand einer Meile reinen Kupferdrahtes 13,95 Siemens (London) und 14,12 Siemens (Berlin) Einheiten beträgt. Zu der Zeit, als ich diesen Widerstand einer Meile reinen Kupferdrahtes für die Hrn. Gebr. Elliot ajustirte, behielt ich eine Copie

1) Jurors' Report 1862, S. 82.

davon, welche aus einer andern Sorte Neusilberdraht und auf überhaupt verschiedene Weise angefertigt war. Als diese zwei Etalons nach 3 Jahren wieder mit einander verglichen wurden, stimmten sie noch vollkommen überein, ein Beweis, daß sie sich nicht verändert hatten; denn es ist kaum anzunehmen, daß zwei verschiedene Arten von Draht, welche obendrein unter verschiedenen Bedingungen aufbewahrt wurden, ihren Widerstand in gleichem Maasse ändern sollten.

Ein weiterer Beweis, daß sich dieser Widerstandsetalon einer Meile Kupfer nicht geändert hatte, ist folgender: Hr. Jenkin hat mir freundlichst mitgetheilt, daß der Werth des in meinem Besitze befindlichen Widerstandsetalon von Thomson (ein Duplicat von dem, welches W. Weber erhielt) im J. 1862 gleich 4,025 Siemens (London) Einheiten gewesen sey.

Daß sich Thomson's Etalon während jener Zeit nicht geändert hatte, wurde durch einen wiederholten Vergleich mit einem aus Gold-Silberlegirung angefertigten Widerstandsmaasse bewiesen, mit welchem die Etalons vor ihrer Uebersendung an Weber in 1860 verglichen waren. Die neue Bestimmung stimmt mit der alten vollkommen überein:

Thomson's Etalon = 4,025 Siemens (London) Einheiten = 15,543 einer für meine Experimente willkürlich angenommene Einheit;

Widerstandsmaass einer Meile = 53,786, bezogen auf dieselbe willkürliche Einheit:

daher ist das Widerstandsmaass einer Meile Kupfer = 13,93 Siemens (London) Einheiten, und da Jenkin denselben zu 13,95¹⁾ angiebt, so hatte es sich nicht verändert; denn die Differenz von etwas mehr als 0,15 Proc. ist kaum erheblich, wenn man den Umweg in Erwägung zieht, auf dem der Werth erhalten ist; sie ist in der That unbedeutend gegen die Unterschiede, von denen ich sogleich reden werde.

1) Hr. Jenkin theilt mir mit, daß seine Bestimmungen vielleicht um 0,1 Proc., keine derselben aber um 0,25 Proc. von der Wahrheit entfernt seyn können.

der Widerstand des

Meilen-Etalons ist = 13,59 B. A. Einheiten,

der Widerstand des

Meilen-Etalons ist = 13,95 Siemens (London) Einheiten,

der Widerstand des

Meilen-Etalons ist = 14,12 Siemens (Berlin) Einheiten

daher

Siemens (London)

Einheit = 0,9742 B. A. Einheit

Siemens (Berlin)

Einheit = 0,9625 B. A. Einheit

Eine neue Einheit

des Hrn. Siemens

von 1864 = 0,9564 B. A. Einheit.

Es würde interessant seyn zu wissen, welche dieser Einheiten von den HH. Siemens als die richtige angesehen wird. Jedenfalls müssen aber die Werthe, da ein falsches specifisches Gewicht für Quecksilber benutzt ist, durch Multiplication mit dem Quotienten $\frac{13,557}{13,595}$ corrigirt werden, und alsdann erhalten wir folgende Werthe für eine Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und einem Quadrat-Millimeter Querschnitt bei 0° C.:

	Wahrer Werth in B. A. Einheiten
Siemens (London) Einheit	0,9715
„ (Berlin) „	0,9598
„ (1864) „	0,9534
	Mittel: 0,9616

Mittel aus Beobachtungen, angestellt von

Hockin und mir (1864) 0,9619

Aus dem obigen sehen wir, wie nahe der Werth von Siemens (Berlin) Etalon mit dem letzten Werthe übereinstimmt; wir können deshalb den wahren Werth der von dem Hrn. Siemens 1864 definirten Quecksilbereinheit = 0,961 B. A. Einheiten annehmen, ein Werth, der von ihrer in 1864 aufgestellten Einheit um ungefähr 0,5 Proc.

und nach der Correction für spec. Gew. um 0,8 Proc. differirt.

Wie entstehen nun diese Differenzen? Sollten wir nicht nach den Veröffentlichungen dieser Herren und Anderer aus ihrem Laboratorium denken, daß die Darstellung dieser Quecksilbereinheit das einfachste Ding von der Welt sey? Ich will nur folgende Worte anführen; Hr. R. Sabine sagt¹⁾: „.... Nach dieser Methode kann jeder Physiker mit wenig Kosten und Mühe sich das Maafs einer Einheit darstellen. — Demnach ist in Dr. Siemens' Laboratorium die Quecksilbereinheit 21 mal reproducirt worden, 6 mal bei Gelegenheit der ersten, 5 mal der zweiten und 10 mal der gegenwärtigen Bestimmungen. Wollen wir uns wegen des Gebrauches des Melsapparates noch Etwas für den persönlichen Fehler in der Vergleichung der ersten Röhren erlauben, so ist die Uebereinstimmung gröfser, als sie zwischen zwei einzelnen Messungen mit verschiedenen Apparaten verbürgt werden kann. — Aus dem Vorhergehenden folgt, daß vermittelt der von Dr. Siemens vorgeschlagenen Methode viel gröfsere Genauigkeit erzielt werden kann, als mit irgend einer andern Art der Darstellung oder Nachbildung von Widerstandsmaafsen.“

Ich kann die eben angeführten Worte nicht mit Stillschweigen übergehen, da sie dazu dienen könnten, Manchen irre zu leiten, der auf diesem Felde der Untersuchung weniger bewandert ist. Zuerst wird ausgesagt, daß diese Methode, Widerstände darzustellen, mit wenig Kosten und Mühe verknüpft sey. Ich will zugeben, daß sie dies ist für diejenigen, welche die besten und bewährtesten Apparate für Normal-Wägungen und Messungen, Normal-Thermometer usw. besitzen; denn nur mit solchen Apparaten können zuverlässige Resultate erhalten werden. Was die Mühe betrifft, so frage ich, ob irgend Jemand nur für einen Augenblick glaube, daß ein Normalmaafs mit *wenig Mühe* dargestellt werden kann? Würde es nicht für einen jeden Forscher Wochen kosten, einen Widerstand mit der Ge-

1) *Phil. Mag.* T. XXV, p. 172, 1863.

nauigkeit herzustellen, daß man sich darauf verlassen kann? Muß er nicht eine jede Bestimmung, die er ausführt, auf jede mögliche Weise bestätigen und controliren? Muß er nicht die zuverlässige Ueberzeugung haben, daß alle seine Instrumente auf das Genaueste getheilt sind? (— und diese kann er nur haben, wenn die Apparate sorgfältig von ihm selbst oder von durchaus competenten Personen geprüft sind). Und endlich, muß er nicht die Gewißheit haben, daß er es mit absolut reinem Metall zu thun habe? Hat nicht bei Gelegenheit einer Sitzung der *Royal Society*, als Bemerkungen über Jenkin's Abhandlung betreffend die B. A. Einheit ausgetauscht wurden, Hr. C. W. Siemens selbst erklärt, er würde die Quecksilbereinheit darum nicht aufgeben können, da er befürchten müsse, die B. A. Einheit könne nicht mit Genauigkeit dargestellt werden, und da er ja selbst erfahren habe, wie schwierig Bestimmungen dieser Art seyen? Ich glaube Hr. Sabine's Angabe würde correcter folgendermaßen lauten: Vermittelst dieser Methode kann jeder Physiker, im Besitze von vollkommenen Apparaten usw., mit großer Mühe, bei Aufwendung einiger Wochen Zeit, bei Beachtung aller für die Erzielung richtiger Resultate nothwendigen Vorsichtsmaßregeln, bei Benutzung der wahren Constanten und Coëfficienten für die Ableitung und Correction der so erhaltenen Werthe — sich eine Normaleinheit darstellen.

Es wird uns zweitens gesagt, daß die Quecksilbereinheit 21mal dargestellt sey, und daß, wollen wir von den unglücklichen Reproduktionen absehen, welche durch den persönlichen Fehler beim Gebrauche des Apparates zur Vergleichung der ersten Röhren veranlaßt wurden, die Uebereinstimmung zwischen allen größer sey, als zwischen zwei einzelnen Messungen mit verschiedenen Apparaten verbürgt werden kann.

Wie ich an einem andern Orte gezeigt habe, beträgt bei Anwendung der ersten Röhren die höchste Differenz zwischen beobachteten und berechneten Widerständen 1,6 Proc., ein Unterschied, welcher von Fehlern im Messappa-

räte herrühren soll. Wenn dieß der Fall ist, so ist nur der Beweis geliefert, welch ungeheure Sorgfalt auf Adjustirung des Apparates verwandt werden muß. Denn wenn in den Händen von Dr. Siemens, bei seiner Geschicklichkeit und mit so guten Apparaten, als er sie in seiner Abhandlung beschreibt, solche Fehler sich bei der Darstellung einer Einheit einschleichen können, wie viel mehr müssen Irrthümer zu befürchten seyn von Andern, die keine solche guten Apparate zur Verfügung haben! Auf die andere Behauptung, daß die übrigen Darstellungen der Einheit größere Uebereinstimmung zeigten, als zwei einzelne Messungen mit verschiedenen Apparaten, mögen folgende Thatsachen eine gute Antwort seyn:

1) Die HH. Siemens sagen, ihre verschiedenen Darstellungen der Quecksilbereinheit stimmen innerhalb 0,05 Proc. überein. Zwei Etalons ¹⁾, der eine aus Neusilber, der andere aus Gold-Silber-Legirung angefertigt, wurden vor mehreren Jahren mit einander verglichen; als sie vor Kurzem mit einem verschiedenen Apparate und von einem verschiedenen Beobachter wieder verglichen wurden, war das Verhältniß ihrer Widerstände absolut dasselbe.

2) Die HH. Siemens haben 1864 eine Quecksilbereinheit aufgestellt. Vier verschiedene Copien derselben sind mit vier verschiedenen Copien der B. A. Einheit vermittelt vier verschiedener Meßapparate und von vier verschiedenen Beobachtern ²⁾ mit einander verglichen. Das Verhältniß der Widerstände, wie sie von den vier Beobachtern gefunden wurden, variirte für die einzelnen nur um 0,02 Proc.

Es wird uns drittens gesagt, daß vermittelt directer Darstellung einer Einheit nach Dr. Siemens Methode viel größere Genauigkeit erzielt werden könne, als mit irgend einer andern Art der Darstellung oder Nachbildung eines Widerstandsmaafes.

1) *S. Report of Electrical Standard Committee, 1864.*

2) *S. Report on the B. A. Unit. by F. Jenkin, Proc. Roy. Soc. No. 74.*

Ich behaupte, daß Copien einer Einheit mit jeder erforderlichen Genauigkeit angefertigt werden können: alle die von der B. A. ausgegebenen Einheiten stimmen innerhalb 0,01 Proc. mit einander überein, natürlich bei der für eine jede angegebene Temperatur. Dieselben werden nach ihrer Anfertigung erst für einen Monat aufbewahrt, und zeigt sich dann die leiseste Veränderung, so werden sie wieder auseinander genommen und von Neuem ajustirt; von 50 hatten sich nur 2 geändert und in beiden Fällen war mangelhaftes Löthen die Ursache gewesen.

Dieses, wie die obige Thatsache, daß vier verschiedene Copien der Quecksilbereinheit von 1864 so gut unter einander übereinstimmen, beweist, daß Copien nicht nur angefertigt werden können, sondern daß sie auch wirklich hergestellt sind mit einer Genauigkeit, welche viel größer ist als die, wenn eine Einheit selbst mit der größten Sorgfalt von Neuem dargestellt werden soll.

Wie können wir, falls die Reproduction einer Einheit so leicht ist, die großen Differenzen erklären, welche sich in den Copien der verschiedenen Ausgaben der Quecksilbereinheit gezeigt haben? Die nackte Wahrheit ist: daß die Reproduction einer Einheit, sobald es sich um große Genauigkeit handelt, mit unsäglichen Schwierigkeiten verknüpft ist. Erinnern wir uns an die Reproduction des Normal-Pfundes, welche von Prof. Miller in Cambridge unternommen wurde; wie leicht ist dieß, denken wir beim ersten Blicke, wie schwer finden wir das Problem, wenn wir auf die Einzelheiten eingehen wollen¹⁾.

Es würde weit besser gewesen seyn, wenn die HH. Siemens, anstatt von Zeit zu Zeit die Einheit von Neuem darzustellen, das gethan hätten, was das von der B. A. ernannte Comité für elektrische Einheitsmaasse gethan hat — nämlich, daß sie zuerst den Werth ihrer Einheit so genau als möglich bestimmt, und davon Copien aus mehreren verschiedenen Materialien angefertigt hätten. Es ist nicht möglich, daß sich alle Copien der B. A. Einheit mit

1) *Proc. Roy. Soc.* 1856, p. 87.

der Zeit in gleichem Maasse ändern sollten, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß die meisten unverändert bleiben werden; dieselben werden natürlich von Zeit zu Zeit geprüft werden und es werden in Kurzem im Observatorium zu Kew Einrichtungen getroffen werden, daß die von dem Comité ausgegebenen Etalons für kaum nennenswerthe Kosten mit den dort deponirten Widerständen verglichen werden können. Auf diese Weise ist es leicht, sich zu überzeugen, ob die Etalons constant bleiben oder nicht. Die von dem Comité ausgegebenen Etalons sind Copien der B. A. Einheit und bei der Ueberlieferung für die darauf angegebenen Temperaturen genau innerhalb 0,01 Proc. Bei Benutzung dieses Etalons lassen die Resultate verschiedener Beobachter eine Vergleichung zu. Das Comité beansprucht durchaus nicht, daß die von ihm adoptirte Einheit absolut gleich sey $10000000 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunden}}$ Weber'schen elektromagnetischen Einheiten, sondern nur eine sehr große Annäherung zu diesem Werthe. Wenn vielleicht in mehreren Jahren noch genauere Bestimmungen vorliegen und eine Correction nöthig seyn sollte, so würde dem Widerstande der Copien der B. A. Einheit, da sie alle gleich sind, entweder ein geringer Werth hinzugefügt oder von demselben abgezogen werden müssen; in ähnlicher Weise würden alle auf dieselben bezogenen Bestimmungen mit denselben Coëfficienten corrigirt werden müssen.

Hätten die HH. Siemens dieses Verfahren eingeschlagen, so würde die Benutzung eines falschen spec. Gew. auf den Werth ihres Etalons als Mittel zur Vergleichung weniger Einfluß gehabt haben, als auf die Unterschiede des Etalons selbst, denn wenn wir einer Siemens-Einheit begegnen, so müssen wir zuerst ihren Werth ausfinden, da, wie schon gezeigt ist, die zu verschiedenen Zeiten aufgestellten Einheiten einen verschiedenen Werth repräsentiren.

VIII. Ueber zwei neue Formen des Heliotropen; von W. H. Miller in Cambridge.

(Vom Hrn. Verf. aus d. *Proceedings of the R. Soc.* 1863 übersandt.)

Ein Heliotrop ist ein Spiegel O , versehen mit einer Vorrichtung zur Adjustirung desselben in der Weise, daß ein gegebener entfernter Punkt T das von dem Spiegel reflectirte Sonnenlicht S empfängt. Diefes Instrument ist nach drei verschiedenen Principien constrairt worden. Drummond läßt durch einen einfachen Mechanismus die Normale des Spiegels den Winkel zwischen den Axen zweier Fernrohre halbiren, von denen das eine auf den Punkt T , das andere auf die Sonne S gerichtet ist, wornach also T das von O reflectirte Licht S empfängt¹⁾. Struve richtet den Spiegel mittelst zweier von Stützen getragener Miren, welche in die Linie OT gebracht sind²⁾. Der bei der Vermessung von Groß-Britannien angewandte Heliotrop ist dem von Struve ähnlich, ausgenommen, daß statt der zwei Miren eine einzige in zweckmäßiger Entfernung in der Linie OT aufgestellt ist³⁾. In den beiden von Gauss erfundenen Heliotropen⁴⁾, in dem von Steinheil⁵⁾ und dem von Galton ist eine optische Vorrichtung mit dem Spiegel verbunden, so daß sie einen Kegel Sonnenlicht in einer Richtung fortwirft, entgegengesetzt dem vom Spiegel reflectirten Kegel Sonnenlicht; die Axen beider Kegel sind parallel und sehr nahe oder absolut zusammenfallend. Folglich wird jeder Punkt T , von welchem ein Theil des er-

1) *Philosoph. Transact. f.* 1826 p. 324.

2) Struve's Breitengradmessung S. 49.

3) *Ordnance Trigonometrical Survey of Great Britain and Ireland, Account of Observations and Calculations of the Principal Triangles* p. 47.

4) *Astronom. Nachrichten* Bd. V, S. 329 und v. Zach's *Correspond. astron.* Vol. V, p. 374 et Vol. VI, p. 65.

5) Schumacher's Jahrbuch f. 1844, S. 12.

steren Lichtkegels auszugehen scheint, das vom Spiegel reflectirte Sonnenlicht empfangen.

Die Heliotropen, welche ich beschreiben will, erzeugen zwei in entgegengesetzten Richtungen fortgeworfene Kegel von Sonnenlicht, wie die von Gauß, Steinheil und Galton, weichen aber darin von ihnen ab, daß sie keine beweglichen Theile haben, und von allen, außer dem von Galton und dem Gauß'schen Heliotropen-Sextant, mit einem zweiten beweglichen Spiegel, daß sie kein anderes Gestell als die Hand des Beobachters erfordern.

Der eine besteht aus einem ebenen Spiegel, an dessen Rande zwei sehr kleine ebene Reflectoren a , c befestigt sind, welche mit einander einen einspringenden Winkel von 90° bilden und mit den Flächen des Spiegels ebenfalls Winkel von 90° . Wenn ein Strahl einmal von den beiden Ebenen a , c reflectirt wird, so ist klar, daß die erste und letzte Richtung des Strahls parallel seyn wird einer Ebene, welche die Intersection von a , c enthält und gleiche Winkel mit der Intersection von a , c macht, die auch eine Normale der Fläche des Spiegels ist. Wenn daher zwei parallele Strahlen einfallen, der eine auf den Spiegel und der andere auf eine der Ebenen a , c , so wird die Richtung des vom Spiegel reflectirten Strahls parallel und entgegengesetzt seyn dem einmal von jeder der Flächen a , c reflectirten Strahl. Bestehen die kleinen Reflectoren aus Stücken von unbelegtem Glase, so wird die Helligkeit des Sonnenbildes nach der zweiten Reflexion so geschwächt, daß es das directe Visiren nach T nicht stört, und der Spiegel ohne Schwierigkeit eingestellt werden kann.

Das andere Instrument besteht aus einer Glasplatte mit parallelen Flächen b , d und an ihren Rändern mit zwei polirten parallelen Flächen, die mit einander und mit den Flächen b , d rechte Winkel machen. Die Fläche d ist versilbert, bis auf einen Theil am Winkel adc nicht größer als die Pupille des Auges. Leicht ersichtlich ist, daß wenn ein Lichtstrahl auf b einfällt und durch b so gebrochen wird, daß er an jeder der Flächen a , c eine innere Re-

flexion erleidet und dann durch d austritt, die Ebenen des Einfalls und Austritts parallel seyn; der einfallende und der ausfallende Strahl gleiche Winkel mit der Kante ac , und folglich mit der Normale der Flächen b , d machen wird. Mithin wird der Theil des einfallenden Strahls, welchen der Spiegel reflectirt, in einer Richtung fortgehen, die parallel und entgegengesetzt ist demjenigen Theil des Strahls, welcher, nach der inneren Reflexion an a und c , durch d austritt.

Um zu erfahren, ob die Construction eines solchen Instrumentes keine unvorhergesehene Schwierigkeiten darbiete, wandte ich mich an Hrn. T. E. Butters, den bekannten Verfertiger von Sextantenspiegeln und künstlichen Horizonten (4, *Crescent, Belvedere Road, London*), um die Flächen a , c an dem Rande einer Glasplatte zu bilden, und die Fläche d mit chemisch reducirtem Silber zu bekleiden. Bei einem Versuche ergab sich das ausfallende Licht als zu hell; allein nachdem der Winkel adc in einer Kerzenflamme beruht worden, um die Intensität des Lichts zu schwächen, war es äußerst leicht den Mittelpunkt des Sonnenbildes in Coincidenz zu bringen mit dem direct gesehenen Gegenstand T .

Ein Sonnenbild von geeigneter Intensität zum Einstellen könnte erhalten werden, wenn man an dem Rande des Spiegels ein Stück farbigen Glases befestigte, von der Gestalt der Ecke $abcd$, mit den Flächen b , d parallel der Ebene des Spiegels.

Berichtigung

zum Aufsatz von A. Töpler.

S. 469 Z. 3 lies: Elektromotor statt: Elektrometer

I. Ueber das Verwitterungs-Ellipsoid wasserhaltiger Krystalle ¹⁾; von Carl Pape.

1. **V**or einiger Zeit habe ich Gelegenheit gehabt, bei krystallisirten wasserhaltigen Salzen den Anfang und das allmähliche Fortschreiten der Verwitterung mehrfach genauer zu beobachten. Es ergab sich, daß die Verwitterung von einzelnen Punkten aus sich nach und nach über die ganze Oberfläche und in das Innere des Krystalls verbreitet. Die so gebildeten, anfänglich isolirten Verwitterungsflecke waren ohne Ausnahme äußerst scharf begränzt und zeigten eine auffallend regelmässige, vollständig symmetrische Form, die den Eindruck genauer Ellipsen machte. Die entsprechenden Axen der Flecke einer Fläche waren unter einander und auf gewissen Flächen bestimmten Kanten der Fläche parallel. Bei den Flecken verschiedener Flächen zeigte es sich, daß sie sämmtlich vorzugsweise nach einer, auch krystallographisch bevorzugten Richtung ausgebildet waren. Bei nicht zu dicken, klaren Krystallen einzelner Salze, namentlich des 1- und 1gliedrigen Kupfervitriols, an dem diese Beobachtung zuerst gemacht ist, konnte von der Rückseite die Form der verwitterten Salzmasse im Innern des Krystalls beobachtet werden. Sie war von einer der Form der Flecke entsprechenden, sehr scharf abgegränzten, anscheinend ellipsoidischen Oberfläche begränzt.

Die absolute Gröfse der parallelen Flecke ist auf jeder

1) Vorläufige Mittheilungen über diese Untersuchung befinden sich in den »Nachrichten v. d. königl. Gesellschaft d. Wissensch. in Göttingen«, 1865, No. 3 und diese Annalen Bd. 124, S. 329; mit einem Zusatz, auch: »Zeitschrift für Chemie« Neue Folge, Bd. 1, S. 207.

Fläche eine sehr verschiedene, sie schwankt von der Ausdehnung eines mit bloßem Auge kaum bemerkbaren Punktes bis zu der Länge eines Millimeters und oft auch darüber. Eine Messung der beiden senkrechten Hauptrichtungen verschiedener Flecke ergab, daß ihr Verhältniß auf einer und derselben Fläche ein constantes ist, gleichzeitig aber auch, daß es sich mit dem krystallographischen Werthe der Flächen ändert und daß diese Aenderung in einer gewissen, mit der Lage der Flächen zusammenhängenden Regelmäßigkeit stattfindet.

Bei verschiedenen anderen Krystallen der übrigen Systeme sind darauf gleichfalls die scharf begränzten Verwitterungsfiguren beobachtet. Es hat sich ganz allgemein dieselbe auffallende Regelmäßigkeit in ihrer Lage und Form herausgestellt. Es schien somit eine directe Abhängigkeit der Form und der Richtung der Verwitterungsfiguren von dem krystallographischen Werthe der einzelnen Flächen und dem Krystallsysteme vorzuliegen.

Einzelne Salze zeigen die Figuren in einer seltenen Reinheit und Schärfe schon beim Verwittern an freier Luft in der gewöhnlichen Stubentemperatur. So kann man an einem frisch aus der Lösung genommenen und sorgfältig abgetrockneten Glaubersalzkristalle bereits nach 5 oder 10 Minuten sehr große ellipsenartige Flecke beobachten. Zinkvitriol zeigt unter gewissen Verhältnissen nach einem oder zwei Tagen isolirte, oft mehr als millimeterlange Flecke von auffallender Schärfe und Regelmäßigkeit.

Die Leichtigkeit, mit welcher sich die Verwitterungsfiguren bilden und das Auffällige ihrer ganzen Erscheinung ließen vermuthen, daß sie bereits eingehender beobachtet wären und namentlich, daß man sich bereits Klarheit über die Art des unverkenubaren Zusammenhanges ihrer Form und Richtung mit dem Krystallsysteme verschafft hätte. Meine Bemühungen, etwas hierauf Bezügliches aufzufinden, sind gänzlich erfolglos gewesen, kaum, daß man die Regelmäßigkeit der Flecke beobachtet zu haben scheint. Das Einzige, was ich nachträglich noch zufällig habe entdecken

können, ist eine Notiz von Grailich in seiner Bearbeitung der Miller'schen Krystallographie¹⁾. Er erwähnt daselbst kurz in ein paar Zeilen, daß die Verwitterungsfiguren sehr regelmäßig gebildet seyen und daß das sehr wahrscheinlich im Zusammenhange mit dem Krystallssysteme stehe.

Bei diesem völligen Mangel jeder Beobachtung dieser interessanten und dem Anscheine nach für die Physik der Krystalle äußerst wichtigen Erscheinung, habe ich sie weiter verfolgt und sie zum Gegenstande einer ausgedehnten Untersuchung gemacht. Der Erfolg ist ein sehr belohnender gewesen. Es haben sich in kaum erwarteter Einfachheit die interessantesten Resultate herausgestellt. Es läßt sich bereits jetzt, obwohl die messenden Beobachtungen noch keineswegs auf alle Krystallssysteme haben ausgedehnt werden können, das Gesetz angeben, nach welchem die Form und Lage der Flecke von dem Krystallssystem abhängt. Ich stehe deshalb auch nicht an, die Resultate meiner Untersuchung, so weit sie vorliegen, bereits jetzt in dem Folgenden mitzutheilen.

Bei der beobachteten Regelmäßigkeit in der ganzen Erscheinung der Flecke, ihrer Form und einer deutlich vorherrschenden Richtung in ihrer Lage, lag die Annahme einer sehr einfachen Abhängigkeit der Verwitterungsart von dem Systeme und der Form des betrachteten Krystalles sehr nahe. Die Trennung des Wassers von dem bei der Verwitterung zurückbleibenden Salze muß bei einem Krystalle in der Richtung am schwierigsten seyn, nach welcher er vorzugsweise ausgebildet ist und von der man annehmen kann, daß in ihr bei der Bildung des Krystalles die größte Kraft gewirkt und die vorzugsweise Lagerung der Wassermoleküle stattgefunden hat. Die Verwitterung würde hier nach am schnellsten in der kleineren, am langsamsten in der größeren Krystallaxe fortschreiten.

Man besitzt in den rechtwinkligen Axen, welche man für jeden Krystall so wählen kann, daß er durch dieselben

1) Lehrbuch der Krystallographie von Prof. W. H. Miller. Uebersetzt und erweitert durch Dr. J. Grailich. Wien 1856. S. 230.

symmetrisch getheilt wird, Gröfsen, durch die man sich die Maxima und Minima der bei der Krystallbildung thätig gewesenen Kräfte nach Gröfse und Richtung ausgedrückt vorstellen kann. Beim 6gliedrigen Systeme hat man drei zur Hauptaxe senkrechte gleiche Axen angenommen, die sich unter gleichen Winkeln schneiden. Ein solches Axensystem ist auch für die vorliegende Erscheinung brauchbar, da es die Bedingungen der Symmetrie erfüllt, es ist deshalb hier zunächst beibehalten.

Denkt man sich nun die Verwitterung von einem Punkte im Inneren des Krystalls aus möglich, so müfste die verwitterte Masse zu irgend einer Zeit von einer symmetrisch gebildeten Oberfläche umschlossen seyn, deren Mittelpunkt der Verwitterungspunkt wäre und deren Hauptdurchmesser in die Richtung der Krystallaxen fielen. Man würde also die beobachteten Flecke als Durchschnitte dieser Oberfläche mit der betreffenden Krystallfläche ansehen können und es wäre möglich, die Natur der Oberfläche aus der der beobachteten Verwitterungsfiguren zu bestimmen.

Die ganze Erscheinung der Flecke, ihre Form, ihre Richtung und die regelmäfsige Aenderung in dem Werthe ihres Axenverhältnisses mit dem krystallographischen Werthe der Flächen, macht die Existenz einer solchen jedem Krystalle eigenthümlichen Oberfläche, also auch eines besonderen mit den Krystallaxen zusammenfallenden Verwitterungsaxensystemes sehr wahrscheinlich. Am Nächsten liegt es, ein im Allgemeinen dreiaxiges Ellipsoid anzunehmen, weil andere Eigenschaften der Krystalle, wie z. B. ihre Wärmeleitungsfähigkeit nach den verschiedenen Richtungen durch die Leitstrahlen eines Ellipsoides dargestellt sind. Die Verwitterungsfiguren müfsten hiernach im Allgemeinen Ellipsen seyn, so auf allen Flächen der dreiaxigen Krystalle mit Ausnahme derjenigen, welche zufällig den Kreisschnitten des Ellipsoides parallel wären, auf diesen müfsten sie dann Kreise seyn. Bei den Krystallen des 4- und des 6gliedrigen Systemes müfsten auf den Flächen parallel und geneigt zur Hauptaxe Ellipsen und auf der Fläche senk-

recht zur Hauptaxe, um die der Krystall symmetrisch gebildet ist, Kreise beobachtet werden, weil hier das Ellipsoid ein um diese Axe gebildetes Rotationsellipsoid seyn würde. Endlich im regulären Systeme würde die Oberfläche eine Kugel seyn und auf allen hier möglichen Flächen müßten Kreise beobachtet werden.

Beobachtungen an Krystallen der verschiedenen Systeme haben die Ansicht in der angedeuteten Weise bestätigt. So der reguläre Chromalaun überall genaue Kreise, sowohl auf den Flächen $|111|$, wie auf $|100|$ und $|011|$ ¹⁾. Das 4gliedrige Blutlaugensalz zeigt Ellipsen auf $|111|$, Kreise dagegen auf $|001|$. Der 2- und 2gliedrige Zinkvitriol zeigt auf den beobachteten Flächen $|111|$, $|110|$, $|100|$ und $|010|$ Ellipsen; in gleicher Weise verhält sich das 2- und 2gliedrige unterschwefelsaure Natron. In den beiden letztgenannten Systemen ist auf den Säulenflächen immer eine der Axen der Verwitterungsfiguren der Hauptaxe des Krystalls parallel; ferner kann auf den Octaëderflächen des 4gliedrigen und den Flächen $|okl|$ und $|hol|$ des 2- und 2gliedrigen Systemes immer durch eine Ellipsenaxe, die Flächennormale und die Hauptaxe eine Ebene gelegt werden. Hieraus und aus dem Umstande, daß die Größenverhältnisse der Axen auf gleichwerthigen, nicht parallelen Flächen constant sind, folgt, daß hier das Verwitterungsaxensystem mit dem krystallographischen zusammenfällt.

Die Krystalle des 6gliedrigen Systemes allein machen eine Ausnahme, sie zeigen nicht die erwartete Form der Verwitterungsfiguren. Sie verhalten sich auffallender Weise wie regulär krystallisirte Körper. Krystalle von unterschwefelsaurem Bleioxyd, Strontian und Kalk zeigen auf der Endfläche sowohl, wie auf den Flächen des Grundrhomboëders und des ersteren stumpferen Rhomboëders Kreise. Die Verwitterungsoberfläche ist hier also nicht ein Rotationsellipsoid, wie man es erwarten mußte, sondern eine Kugel. Es scheint diese Beobachtung ein ganz besonderes Interesse beanspruchen zu dürfen, da sie Auf-

1) Bei Bezeichnung der Krystallform, der Fläche und der Zone sind die Indices bez. in verticale Striche, runde und eckige Klammern eingeschlossen.

schluß zu geben verspricht über die eigenthümliche Bedeutung des für sich schwer erklärlichen 6gliedrigen Systemes.

In Uebereinstimmung mit der ausgesprochenen Ansicht ist die Erscheinung ferner beobachtet unter anderen auf den 2- und 1gliedrigen Glaubersalze, Eisenvitriol und unterschwefligsauren Natron, ebenso auf dem 1- und 1gliedrigen Kupfervitriol. Bei der im Allgemeinen großen Complicirtheit der Formen dieser Systeme läßt sich hier nicht so einfach ein sicherer Schluß ziehen auf die Natur der Verwitterungsoberfläche und die Lage ihres Axensystemes zu dem des Krystalls. Nur das ergibt sich sofort, daß ein einfacher Zusammenhang zwischen Richtung und Form der Flecke und den schiefwinkligen Axen nicht besteht, auf die man die Formen dieser Systeme zu beziehen pflegt.

Die Beobachtungen haben gezeigt, daß auch für das 2- und 1gliedrige System ein dreiaxiges Verwitterungsellipsoid besteht, und daß die Krystallformen zu den Axen desselben symmetrisch liegen. Auf diese rechtwinkligen Axen bezogen erscheinen die Formen dieses Systemes als parallellflächige Hemiedrien des 2- und 2gliedrigen Systemes.

Im Folgenden theile ich die Beobachtungen mit, aus denen diese Schlüsse gezogen sind und die eine wirkliche Bestimmung der Axen verschiedener Verwitterungsellipsoide möglich gemacht haben. Den Anfang werde ich machen mit der Untersuchung des Eisenvitrioles und dann daran schließeln die ebenfalls vollendet vorliegenden Resultate, welche die Beobachtungen am 2- und 2gliedrigen Zinkvitriol und am 6gliedrigen unterschwefelsauren Bleioxyd, Strontian und Kalk geliefert haben.

2. Bevor ich mich zur Angabe der Beobachtungsergebnisse selbst wende, werde ich noch etwas näher auf einige Einzelheiten eingehen, die zum Verständniß der fraglichen Erscheinung in ihrem ganzen Umfange erforderlich scheinen. Es beziehen sich dieselben namentlich auf die Erzeugung der Flecke, die Umstände unter denen sie sich bilden, ihre äußere Erscheinung und endlich auf die Art und Weise,

wie die Messung ihrer Axen ausgeführt, und welche Methode bei der Berechnung der Axen des Verwitterungs-ellipsoides befolgt ist.

Nach den vorliegenden Beobachtungen an einer grösseren Zahl der verschiedensten wasserhaltigen Krystalle geht die Verwitterung stets von einzelnen Punkten aus unter Bildung der Verwitterungsflecke, die eben Gegenstand dieser Untersuchung sind. Die Temperatur, bei der die Verwitterung beginnt, ist bei den verschiedenen Salzen verschieden; man kann im Allgemeinen annehmen, obwohl es nicht streng gültig ist, daß die Salze um so leichter verwittern, je mehr Aequivalente Wasser sie enthalten. Bei einzelnen Salzen genügt schon die gewöhnliche Zimmertemperatur, um die Flecke in bester Form hervorzubringen. Es ist dies namentlich auffällig bei dem Glaubersalze und dem Zinkvitriole, wie schon erwähnt ist. Auch der Chromalaun zeigt seine kreisförmigen Verwitterungsflecke, wenn er längere Zeit offen an der Luft liegt. Man wird sich davon am Leichtesten bei der Beobachtung der grossen Exemplare überzeugen, die man in den Sammlungen von diesem Salze aufbewahrt. Die Erscheinung tritt bei den genannten Krystallen in einer so auffallenden Reinheit und Deutlichkeit auf, daß es wunderbar ist, wie sie so lange hat unbeachtet bleiben können.

Bei den meisten Salzen ist es zur Erzeugung der Flecke nöthig, die Krystalle auf eine höhere Temperatur zu erhitzen. Bei den von mir untersuchten Salzen schwankt die erforderliche Temperatur von 29° C. bis zu 78° C. So verwittert Chromalaun gewöhnlich erst bei 29° C., Zinkvitriol, Eisenvitriol und unterschwefligsaures Natron bei ungefähr 33°, unterschwefelsaures Bleioxyd bei 53°, unterschwefelsaures Natron bei 55°, Chlorbarium bei 58°, Kupfervitriol bei 46°, unterschwefelsaurer Kalk und Strontian bei 78°.

Es ist bei diesen Angaben vorausgesetzt, daß die angewandten Krystalle sich in dem Zustande befinden, in welchem sie sich allein zur Erzeugung scharf begränzter und für die Beobachtung tauglicher Verwitterungsfiguren eig-

nen. Sie müssen zu dem Ende unmittelbar nach dem Herausnehmen aus der Mutterlauge ebenso sorgfältig auf sämtlichen Flächen abgetrocknet werden, als ob sie zu krystallographischen Messungen dienen sollten. Versäumt man Dies und läßt die nach oberflächlichem Abtrocknen zurückbleibende Schicht Mutterlauge auf den Flächen eintrocknen so pflegen die Krystalle weit leichter zu verwittern; außerdem werden in diesem Falle die Figuren nicht immer so regelmäfsig und so scharf begränzt. Man kann diese Beobachtung sehr leicht am Zinkvitriole machen. Oberflächlich abgetrocknete Krystalle dieses Salzes verwittern in freier Luft, während das bei Krystallen mit vollkommen ebenen und spiegelnden Flächen nicht der Fall ist. Ebenso verwittern durch Aneinanderreiben in einem gemeinsamen Gefäfse oder durch Ritzen äufserlich verletzte Krystalle leichter als unverletzte. Hiernach ist es auch erklärlich, weshalb bei ursprünglich ganz tadellosen Krystallen die Verwitterung, sobald sie nur erst eingeleitet ist, auch bei einer etwas niedrigeren Temperatur ihren regelmäfsigen Fortgang nimmt, als die ist, welche zur Einleitung erforderlich war.

Es erfordert die Herstellung brauchbarer Flecke grofse Aufmerksamkeit. Einmal mufs die Temperatur, bei welcher die Verwitterung eingeleitet wird, durch vorläufige Versuche sehr angenähert festgestellt werden. Ferner mufs man sich vor Beginn des eigentlichen Versuches versichert haben, dafs die Temperatur des Apparates die so gegebene Gränze nicht überschreiten kann. Sodann mufs sorgfältig der Moment der Einleitung der Verwitterung abgepafst werden, um die Temperatur dann etwas erniedrigen zu können, weil sonst die Bildung der Flecke zu rasch und unregelmäfsig vor sich geht. Die Unregelmäfsigkeit wird wahrscheinlich daher rühren, dafs die Verwitterung nicht mehr allein von dem ursprünglichen Mittelpunkt aus sich verbreitet, sondern auch ungleichmäfsig von Stellen am Rande des Fleckes aus. Bei einer Temperatur, welche die eigentliche Verwitterungstemperatur nur wenig überschreitet

wird von bis dahin unverletzten Stellen aus keine neue Verwitterung beginnen, sie wird dann immer nur gleichmäßig an den durch die verwitterte Masse begrenzten und durch diese verletzten Theilen des Randes der Flecke fortschreiten und so eine regelnäßige Figur bilden.

3. Um die verschiedenen Bedingungen zu erfüllen, also namentlich um eine beliebige constante Temperatur leicht zu erreichen und sie ebenso leicht auch regeln, sie nach Bedürfnis erniedrigen oder erhöhen zu können, bediene ich mich eines Luftbades von folgender einfachen Einrichtung.

Das eigentliche Luftbad ist ein Blechcylinder von 120^{mm} Höhe und 100^{mm} Durchmesser, der durch einen übergreifenden Deckel geschlossen wird. In dem Deckel sind mehrere kleine cylindrische Blechröhren in verschiedenem Abstände von der Mitte angebracht, um darin ein Thermometer in verschiedenen Lagen befestigen zu können; sie dienen gleichzeitig als Ausgangsöffnungen für die am unteren Ende des Cylinders seitlich eindringende Luft. Im Inneren enthält der Cylinder ein Blechtischchen mit mehrern Oeffnungen zur Aufnahme kleiner Porzellantiegel mit den zu untersuchenden Salzen. Unter diesem Tischchen befindet sich ein zweites aus Pappe, um die directe Wärmestrahlung des erhitzten Bodens von dem Salze abzuhalten.

Der Blechcylinder ruht im Innern eines auf einem Tische aufgestellten prismatischen Pappkastens ohne Boden auf dem Ringe eines aufserhalb aufgestellten Stativs, wie man es an den Berzelius'schen Lampen hat, und wird darauf durch einen von oben aufgedrückten zweiten Ring festgehalten. Ein verticaler Schlitz in der einen Wand des Kastens erlaubt ein Auf- und Abschieben des Luftbades. Oben ist der Kasten durch einen lose aufgelegten Pappdeckel mit niedergebogenen Rändern und einer Oeffnung für den Stiel des Thermometers geschlossen. Eine Spirituslampe, aus einem kleinen Präparatenglase mit weitem Halse und einer mittelst eines Korkes aufgesetzten, etwa 3^{mm} weiten Glasröhre angefertigt, erwärmt den Apparat. Bei der schlech-

ten Wärmeleitung des Glases kann man durch Eindrücken des Doctes die Flamme bis auf die kleine Höhe von 1^{mm} reduciren und hat es somit in der Hand, jede beliebige Temperatur in dem abgeschlossenen Raume hervorzubringen. Bei der geringen Gröfse der Flamme bleibt die Temperatur sehr lange constant, oft tagelang wenn die Temperatur des Zimmers keine zu grofse Schwankungen zeigt. Um diese Constanz dauernd zu erreichen, wird das Spiritusniveau in der Lampe durch eine Heberverbindung mit einem gröfseren Spiritusgefäße aufserhalb des Kastens constant erhalten.

Diese Trockenvorrichtung hat sich ungeachtet ihrer grofsen Einfachheit, für den vorliegenden Zweck in jeder Beziehung bewährt. Die Wahl eines Luftbades überhaupt gewährt den Vortheil, dafs ein nicht beabsichtigtes zu hohes Ansteigen der Temperatur durch blosses Oeffnen des Apparates und Zuführen einer gröfseren Menge kalter Luft momentan rückgängig gemacht werden kann. Sodann erlaubt die Einrichtung eine äufserst genaue Einstellung der Temperatur, bis auf 1° C. Es wird diels erreicht, je nach Wunsch, durch eine Veränderung des Spiritusniveaus der Lampe, durch ein höher oder niedriger Stellen des Blechkastens am Stativ oder endlich durch ein mehr oder weniger vollkommenes Schliefsen des Schlitzes im Pappkasten durch Baumwolle. Plötzliche Störungen von Aussen können nicht eintreten, da die Luft nur durch die Fugen des Pappkastens, durch die sie ein- und austritt, mit der Umgebung in Verbindung steht.

4. Um in diesem Apparate die Verwitterungsflecke zu erzeugen, wird zunächst die Verwitterungstemperatur durch vorläufige Versuche für das betreffende Salz ungefähr festgestellt und die Zeit beobachtet, innerhalb welcher die Flecke eine zweckmäfsige Gröfse erlangt haben. Ist diels einmal geschehen, so hat es keine grofse Schwierigkeit zu jeder beliebigen Zeit die Flecke zum Zwecke der Messung zu erzeugen, obwohl es bei einzelnen Salzen auch dann noch oft vom Zufalle abhängt, ob die Flecke die gewünschte

Reinheit zeigen. In vielen Fällen empfiehlt es sich, die Salze erst dann in den Apparat zu bringen, wenn er bereits die verlangte Temperatur zeigt, weil dann der ganze Raum im Pappkasten schon erwärmt ist und die Operation rasch und sicher beendet werden kann. Es gilt dies namentlich für die Salze, die, wie z. B. Zinkvitriol, sehr leicht verwittern. Bei anderen weniger leicht verwitternden Salzen ist es ziemlich gleichgültig, ob man die Salze in den erwärmten Apparat legt oder sie gleichzeitig mit demselben erwärmt. Ist die Verwitterungstemperatur aber sehr hoch, wie z. beim Kupfervitriol oder unterschwefelsauren Kalk, also ein Zerspringen der Krystalle zu befürchten, wenn sie mit einem Male dieser Temperatur ausgesetzt werden, so muß das gleichzeitige Erwärmen von Apparat und Salz vorgezogen werden.

Bei einem und demselben Krystalle ist die Verwitterungstemperatur für Flächen verschiedener Art häufig sehr verschieden. So verwittern beim Zinkvitriole die Octaederflächen weit schwieriger als die Säulenflächen, die ersteren sind oft noch ganz spiegelnd, während die letzteren bereits ganz verwittert sind. Namentlich auffallend ist dies beim 6gliedrigen unterschwefelsauren Bleioxyd. An demselben sind stets die Flächen des ersten stumpferen Rhomboëders völlig unversehrt, wenn die des Grundrhomboëders schon ganz verwittert sind; sie verwittern aber gleichfalls sobald die Verwitterung bis an ihre Gränze vorgedrungen ist. Will man isolirte Flecke auf diesen Flächen darstellen, so muß man von vorne herein eine höhere Temperatur anwenden.

5. Eine an und für sich, aber auch mit Rücksicht auf die vorliegende Untersuchung interessante Frage ist noch die nach der chemischen Zusammensetzung der Substanz der Flecke, ob sie wasserfrei ist, oder ob sie Wasser enthält und wie viel. Diese Frage wird von Wichtigkeit werden, sobald es sich darum handelt, den Zusammenhang zwischen der Größe der Verwitterungsaxen und der krystallographischen Axen zu untersuchen. Es ist wahrschein-

lich, daß die beiderlei Axen sich umgekehrt verhalten werden, wenn die verwitterte Masse wasserfrei ist, weil dann die Verwitterung genau das Entgegengesetzte der Bildung des wasserhaltigen Krystalls bewirkt hat; das Verhältniß wird ein anderes seyn, wenn die zurückbleibende Salzmasse nicht wasserfrei ist und es wird im Allgemeinen abhängen von der Menge des ausgetretenen Wassers.

Ich glaube, daß die Entscheidung dieser Frage nicht wohl von der vorliegenden Untersuchung getrennt werden darf, wenn diese einem allseitig befriedigenden Abschlusse entgegen geführt werden soll; ich habe mich deshalb auch schon mehrfach damit beschäftigt und werde sie eingehender behandeln, sobald mir die Beobachtung der Verwitterungsfiguren die Zeit dazu läßt. Bei einzelnen Salzen liegen Beobachtungen vor und danach geht das Wasser beim Verwittern stets in ganzen Aequivalenten fort, und zwar so, daß nach dem Verluste einer gewissen Anzahl Aequivalente die Temperatur wieder um ein Gewisses steigen muß, wenn ein neuer Wasserverlust eintreten soll.

Beim Zinkvitriole geht bei der Temperatur, bei welcher sich die beobachteten Flecke bilden, alles Wasser bis auf 1 Aeq. fort. Der Eisenvitriol verliert bei der entsprechenden Temperatur 3 Aeq. Wasser. Der Kupfervitriol verliert bei 46° C. 2 Aeq. Wasser, bei 56°, das dritte, bei 59° das vierte Aequivalent. Das letzte Aequivalent Wasser verlieren alle diese Salze erst bei sehr hoher Temperatur.

Es ist mir bis jetzt noch nicht gelungen z. B. beim Kupfervitriol auf einer und derselben Fläche Flecke von verschiedenem Axenverhältnisse hervorzubringen, wie es nach den mitgetheilten Beobachtungen der Fall seyn müßte, wenn man den Krystall zuerst auf die Temperatur brächte, bei der bereits 3 Aeq. Wasser fortgehen, und ihn dann auf die gewöhnliche Verwitterungstemperatur abkühlen ließe. Es wird auch schwer seyn, beide Erscheinungen gesondert zu erhalten, es wird im günstigsten Falle nur eine Vermischung beider auftreten, da der Krystall zuerst die niedrigere Temperatur annehmen muß, auch wenn er in einen

heißeren Raum gebracht wird. Ich halte es nicht für unmöglich, daß eine Vermischung von zweierlei Ellipsenarten beim Kupfervitriol einer der Gründe ist, weshalb bei diesem Salze die Flecke so sehr schwierig in der Schärfe und Reinheit zu erhalten sind, wie bei anderen. Das Salz verwittert sehr schwer, es muß zur Einleitung der Verwitterung auf eine Temperatur erhitzt werden, die weit die Temperatur überschreitet, bei welcher 2 Aeq. Wasser fortgehen und die auch höher ist als die dem Verluste von 3 Aeq. Wasser entsprechende. Läßt man nach der Einleitung der Verwitterung die Temperatur auch wieder sinken, so bleibt es doch immer schwieriger, von oben herab die richtige Temperatur zu treffen und es wird da schwer ein Durcheinander-Entstehen zweierlei Ellipsenarten zu verhindern seyn. Die hier angeregte Frage wird sich nur durch die Beobachtung an solchen Salzen entscheiden lassen, die mit verschiedenem Wassergehalte krystallisirt erhalten werden können.

6. Die äußere Erscheinung der Verwitterungsfiguren, deren Beobachtung und Messung den eigentlichen experimentellen Theil dieser Untersuchung bildet, ist mit ganz geringen Unterschieden dieselbe bei den verschiedenen Salzen. Sie sind im Allgemeinen äußerst regelmäfsig gebildet und so vollkommen scharf begränzt, daß man selbst nicht unter dem Mikroskope Ungleichförmigkeiten an den Rändern bemerkt. Namentlich scharf tritt die Figur bei dunkel gefärbten Krystallen hervor und bei den wasserhellen Krystallen dann, wenn dafür gesorgt ist, daß die Erleuchtung der Krystallfläche nur von oben stattfindet. Bei den meisten Krystallen sind die mittleren Theile der Figur etwas über der Krystallfläche erhaben, bei anderen tritt diese Erhöhung erst nach der Entfernung aus dem Luftbade durch Wasseranziehen ein. Die Mehrzahl der Krystalle zeigt im Mittelpunkte der Figur eine Vertiefung, die ebenso wie die von diesem Punkte ausgehenden radialen Risse der verwitterten Masse und das ab und an bemerkbare Aufblättern der Krystallfläche in der Umgebung

des Fleckes secundäre Erscheinungen sind und nicht nothwendiger Weise mit der Verwitterung auftreten. Die Verwitterung dringt in den Krystall ein und bei hellen und durchsichtigen, nicht zu dicken Exemplaren läßt sich von der Rückseite die ellipsoidartige Verwitterungsoberfläche beobachten.

Häufig scheinen die Verwitterungsfiguren auf derselben Fläche verschiedene Form zu haben, z. B. Ellipsen und Kreise zu seyn. Eine genauere Beobachtung zeigt aber, daß eine Täuschung vorliegt. Man erkennt leicht, daß bei einem anscheinend kreisförmigen Flecke zwei nebeneinander entstandene Ellipsen mit den kurzen Axen aneinander gewachsen sind und daß entweder die beiden vertieften Verwitterungsmittelpunkte oder doch die Einbiegungen an den Durchschnittsstellen der beiden Randcurven vorhanden sind. In derselben Weise erklärt sich das gleichzeitige Auftreten von ausnahmsweise langgestreckten Ellipsen durch Zusammenwachsen der großen Axen zweier Flecke von normaler Form.

Nicht bei allen Krystallen ist es gleich leicht, genau geschlossene, isolirte Verwitterungsfiguren hervorzubringen, es bilden sich oft nur parallele Linien in einer der krystallographischen Hauptrichtungen und vielfach diese gleichzeitig mit untermischten Flecken. Durch diese Eigenthümlichkeit zeichnet sich der Zinkvitriol aus, die Linien laufen hier z. B. auf den Säulenflächen parallel der Krystallhauptaxe. Vielleicht liegt der Grund hiervon darin, daß die Temperatur zu rasch gestiegen ist, daß der Krystall in Folge zu rascher Ausdehnung gerissen ist und daß sich nun längs den Rissen eine Menge Verwitterungsmittelpunkte gebildet haben. Beim Eisenvitriol sehe ich hierin auch mit den Grund, weshalb dort auf der Zone $\{000\}$ die Flecke parallel der Axe A häufig sehr lang, ohne sehr scharfe bestimmte Begrenzung ausgebildet sind und erkläre es mit dadurch, daß ich für die Axenverhältnisse der Ellipsen auf den Flächen dieser Zone anfänglich andere Werthe gemessen habe, als nachträglich, nachdem ich auf diese Eigen-

thümlichkeit aufmerksam geworden war. Man erhält die Flecke am Leichtesten in ihrer richtigen, allseitig scharf begränzten Form, wenn man bei ihrer Darstellung in der oben beschriebenen Weise verfährt. Um eine Veränderung der äusseren Form zu vermeiden, empfiehlt es sich die Krystalle unmittelbar aus dem Luftbade unter den Messapparat zu bringen.

Unter einer grossen Zahl von Flecken, wie sie auf einer einigermaassen grossen Krystallfläche immer auftreten, finden sich stets einige die durch störende Einflüsse der genannten Art nicht vollkommen ausgebildet sind. Je grösser die Flecke sind, desto ungenauer sind sie im Allgemeinen. Zum Zweck der Messung ist es daher gerathen unter den dem Augenscheine nach am gleichmässigsten ausgebildeten Flecken die kleineren zu wählen. Ich habe gefunden, dass die Flecke von etwa 0,2 bis 0,3^{mm} Länge allen Anforderungen vollkommen genügen, sie sind namentlich auch hinreichend gross, um bei der Messung den Einfluss der Beobachtungsfehler auf ein Minimum zu reduciren.

7. Um die Ansicht zu prüfen, ob ein Verwitterungsellipsoid im Allgemeinen für wasserhaltige Krystalle angenommen werden kann und welche Lage die Axen desselben zu den Krystallen haben, ist es nöthig, einmal das Axenverhältniss der Verwitterungsfiguren zu messen und sodann die Richtung festzustellen, welcher auf einer Fläche die entsprechenden Axen der Figuren parallel sind.

Zu beiderlei Bestimmungen habe ich mich eines Reib'sold'schen Mikroskop-Mikrometers bedient, das mir durch die Güte des Hrn. Prof. Weber für die Dauer meiner Beobachtungen zur Verfügung gestellt ist. Das Instrument vergrössert etwa 20fach, also in einer für solche Beobachtungen sehr angemessenen Weise. Zum Zweck der Messung ist im Innern des Instrumentes ein System von mehreren Fäden mit seltener Genauigkeit angebracht. Einer der Fäden fällt mit der Richtung der Mikrometerschraube zusammen und wird rechtwinklich von zwei einander sehr nahe liegenden Parallelfäden geschnitten; ausserdem wird er noch

an einem Punkte von zwei unter spitzem Winkel geneigten Fäden so durchkreuzt, daß die Halbierungs-Linie des spitzen Winkels senkrecht zu ihm steht. Für die Beobachtung sind nur die drei ersteren Fäden gebraucht.

Das Instrument steht bei der Messung vertical. Der in der Richtung der Mikrometerschraube liegende Faden wird mit der zu messenden Axe des horizontal gestellten Fleckes zur Deckung gebracht und das Ende dieser Axe durch Drehung der Schraube genau auf die Mitte zwischen den parallelen Fäden eingestellt. An einer senkrecht zur Schraube aufserhalb an derselben angebrachten getheilten Trommel von etwa 40^{mm} Durchmesser wird darauf ihre Stellung an einer Marke abgelesen. Hiernach wird die Schraube so lange gedreht, bis das andere Ende der Axe sich mitten zwischen den Parallelfäden befindet, und wiederum die Stellung der Marke abgelesen. Die Anzahl der Umdrehungen und die abgelesenen Bruchtheile geben die Länge der Axe in den Einheiten des Instrumentes. Nach einer Drehung des Krystalls um 90° um die Axe des Instrumentes wird die zweite Axe des Fleckes ebenso gemessen. Durch Division beider Zahlen durcheinander wird das gesuchte Axenverhältniß des Fleckes unabhängig von den Einheiten des Instrumentes erhalten. Bei der scharfen Begränzung der Flecke, der gänzlichen Abwesenheit eines todten Ganges der Mikrometerschraube und der Leichtigkeit der Einstellung zwischen die Parallelfäden läßt sich die Messung mit großer Schärfe ausführen, so daß bei Flecken nicht kleiner als 0,2^{mm} die zweite Decimale im Werthe der Axenverhältnisse verbürgt werden kann. Diefes Resultat ist um so sicherer erreicht, als jede einzelne Länge mindestens zweimal vorwärts und zweimal rückwärts gemessen ist, um die Gewifsheit zu haben, daß die Lage des Fleckes während der Messung nicht verändert sey.

Zur sicheren Ausführung der Messung trägt ferner noch eine Einrichtung des Apparates bei, die es gestattet, den Krystall nach Belieben von allen Seiten, nur von vorne oder nur von oben zu beleuchten. Die Möglichkeit, das

Licht nur von oben auf die horizontale Krystallfläche fallen zu lassen, ist für wasserhelle oder schwach gefärbte Krystalle von Wichtigkeit, weil man dadurch die Flecke weiß auf dunklem Grunde scharf begränzt erhalten kann, während sonst eine genaue Erkennung ihrer Begränzung nicht möglich ist.

Für die Zuverlässigkeit der gemessenen Werthe ist es sehr wesentlich, daß die Krystallfläche, auf welcher die Flecke gemessen werden sollen, genau horizontal gestellt ist. Um diess möglichst vollkommen zu erreichen, wird der Krystall mit Wachs auf ein ebenes Brettchen geklebt und die fragliche Fläche nach dem Augenmaasse der Ebene des Brettchens parallel gerichtet. Darauf wird letzteres mit dem Krystalle auf den horizontalen Tisch unter das Mikroskop gelegt und beobachtet, ob die verschiedenen Verwitterungsflecke auf jeder Stelle der Fläche gleich deutlich gesehen werden. Bei der äusserst scharfen Begränzung der Flecke ist ein Unterschied in der Deutlichkeit sehr leicht zu bemerken, und man kann daher eine überall gleiche Deutlichkeit als genügenden Beweis für die horizontale Stellung der Fläche ansehen. Wollte man die Reflexion an der Fläche benutzen und einen besonderen, der Vorrichtung an den Goniometern ähnlichen, Apparat in Anwendung bringen, so würde man ohne Frage die horizontale Stellung mit noch gröfserer Sicherheit erreichen können, aber gleichzeitig würde man auch die Schwierigkeiten der Untersuchung um einen beträchtlichen Theil vermehren, ohne wesentlich günstigere Endresultate zu erhalten. Man erlangt bei vielen Versuchen sehr bald eine große Sicherheit darin, die Krystallfläche nach dem Augenmaasse horizontal zu stellen. Ich habe nur in seltenen Fällen nach der Prüfung unter dem Mikroskope eine Aenderung vornehmen müssen, und glaube deshalb die angewandte Methode als vollkommen zweckdienlich empfehlen zu können. Bei großen Krystallflächen ist man am wenigsten Fehlern ausgesetzt, nur bei sehr kleinen Flächen, auch wenn sie bei grö-

lserer Länge sehr schmal sind, tritt Unsicherheit ein; solche Flächen habe ich deshalb auch gar nicht zu den Beobachtungen benutzt, sondern sie stets von einer solchen Ausdehnung gewählt, daß Zweifel nicht entstehen konnten.

Bei jeder einzelnen Messung kann, wie schon bemerkt, die zweite Decimale des beobachteten Axenverhältnisses verbürgt werden, da nur augenscheinlich fehlerfreie Flecke von einer bestimmten Minimalgröße zur Beobachtung benutzt sind. Wenn trotzdem die verschiedenen Beobachtungen eine etwas geringere Uebereinstimmung zeigen, so liegt der Grund davon wohl nur in anderen Fehlerquellen, die auf die Messung selbst keinen Einfluss haben. Es scheinen mir im Ganzen drei Fehlerquellen vorhanden zu seyn. Die eine hat ihren Grund in dem bei der Horizontalstellung begangenen Fehler, die andere darin, daß einzelne Flecke, ungeachtet der anscheinenden Tadellosigkeit, doch kleine Abweichungen von der normalen Form zeigen, die man unmöglich bei der Auswahl erkennen kann. Die dritte Fehlerquelle kann darin begründet seyn, daß man nie mit absoluter Schärfe den in der Richtung der Mikrometerschraube gelegenen Faden mit der zu messenden Axe zur Deckung bringen kann. Es kann die Einstellung nur nach dem Augenmaasse geschehen und hierbei ist ein Beobachtungsfehler unvermeidlich. Bei einem einigermaassen großen Werthe des Axenverhältnisses ist er leicht auf ein Minimum zu reduciren, nur in den Fällen kann er sich bemerklicher machen, in welchen das Verhältniß wenig von der Einheit verschieden, die richtige Einstellung also schwierig ist. Es zeigt sich dies z. B. beim Eisenvitriole bei den Flächen von $|001|$ und $|104|$, auf denen das Axenverhältniß ein kleines ist.

Die im Folgenden mitgetheilten Beobachtungen werden zeigen, daß diese Fehlerquellen Zweifel an der Richtigkeit der Zahlenresultate nicht begründen. Nur vielleicht in dem sehr seltenen Falle, daß auf einer Flächenart nur ein oder zwei Flecke haben beobachtet werden können, kann man Bedenken tragen, einer beobachteten Zahl ohne Weiteres

zu vertrauen, wenn keine Mittel vorhanden sind, sie in anderer Weise zu prüfen.

Zur Bestimmung der Hauptrichtung der Flecke und namentlich zur Prüfung, ob eine der Axen einer Hauptrichtung des Krystalls parallel sey, hat entweder der einzelne Faden oder das zu ihm senkrechte System der beiden Parallelfäden gedient. Es wurde der einzelne Faden mit der einen Axe zur Deckung gebracht und gesehen, welcher Kante der Fläche er oder die beiden Parallelfäden parallel waren. Bei der Länge der Fäden war diese Prüfung mit großer Sicherheit auszuführen.

8. Nachdem durch eine große Reihe von Verwitterungsversuchen und vorläufige Messungen an verschiedenen Krystallen die Erscheinung der Flecke geprüft war und es keinem Zweifel mehr unterliegen konnte, daß ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Krystallsysteme nach Größe und Richtung der Axen einerseits und der Art der Verwitterung anderseits bestehe, handelte es sich darum, das fragliche Gesetz für bestimmte krystallisirte Substanzen durch genaue Beobachtungen festzustellen. Die möglichst zweckmäßige Wahl der Salze mußte, um dies möglichst sicher zu erreichen, die zunächst zu erfüllende Bedingung seyn. Das Salz mußte bei passender Einleitung der Verwitterung namentlich die Flecke leicht in großer Reinheit und Schärfe liefern. Dabei mußte sein Krystallsystem womöglich das allgemeinste, also ein dreiaxiges seyn, und es mußten die Krystalle eine möglichste Mannigfaltigkeit der Flächen darbieten, um die über das Wesen der Erscheinung ausgesprochene Ansicht nach verschiedenen Seiten hin genügend prüfen zu können.

Es ist nicht zu verkennen, daß durch die Wahl eines so allgemeinen Falles die Untersuchung bedeutend schwieriger werden mußte. Aber da die Beobachtung am regulären Chromalaun und am 4gliedrigen Blutlaugensalze, wenn sich an diesem letzteren die Flecke auch nicht zu Messungen eigneten, die Ansicht bestätigt hatte, so schien die

Wahl eines dreiaxigen Krystalles gerechtfertigt. Eine Bestätigung des aufgestellten Gesetzes in diesem allgemeinsten Falle würde ausserdem sehr für die Gültigkeit desselben in anderen weniger allgemeinen Fällen gesprochen haben.

Die Ausführung der Untersuchung in dem angedeuteten Sinne wurde mir durch andere günstige Umstände wesentlich erleichtert. Ich war im Besitze einer grossen Menge schöner Krystalle eines dreiaxigen Salzes, des 2- und 1-gliedrigen Eisenvitriols, das sich sowohl rücksichtlich der Erzeugung der Flecke als auch ganz besonders wegen seines seltenen Flächenreichtums vorzüglich zu dieser Untersuchung eignet. Mehrere dieser Krystalle waren fast einen Zoll dick und zeigten die meisten Flächen in beträchtlicher Ausdehnung. Hr. Prof. Werther in Königsberg i. Pr. hat die Güte gehabt, mir diese selten schönen Krystalle zum Zwecke dieser Untersuchung zur Verfügung zu stellen, und mir im Laufe derselben noch eine grosse Zahl von derselben Beschaffenheit darstellen zu lassen.

Die Darstellung der Untersuchung des 2- und 1-gliedrigen Eisenvitrioles wird uns im Folgenden zunächst beschäftigen. Sie wird ausführlicher gehalten seyn, als es später bei der Mittheilung der an anderen Salzen erhaltenen Resultate der Fall seyn wird, eines Theils weil sie dazu dienen soll, die Richtigkeit der aufgestellten Ansicht in ihren verschiedenen Theilen nachzuweisen, anderen Theils aber auch, um verschiedene Punkte von allgemeinerer Bedeutung an einem speciellen Beispiele zu erörtern.

Eisenvitriol ($\text{FeSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$). 2- und 1gliedrig.

9. Die 2- und 1gliedrigen Formen lassen sich mathematisch einfacher auf ein rechtwinkliges Axensystem als auf das gebräuchliche schiefwinklige beziehen und zwar so, daß sie dann in ihren Haupttheilen als paralleleflächige Hemiedrie des 2- und 2gliedrigen Systemes erscheinen. So sind die

als rhombische Prismen bezeichneten Formen als halbe 2- und 2 gliedrige Octaëder anzusehen. Diefs rechtwinklige Axensystem hat sich für die Verwitterungserscheinungen von Bedeutung erwiesen; die Lage der Verwitterungsfiguren weist direct darauf hin. Bei dem Eisenvitriole ist die senkrechte Verbindungslinie der stumpfen Kanten des gewöhnlich beobachteten rhombischen Prismas eine dieser Axen (B), die beiden anderen liegen in der Ebene der scharfen Prismenkanten so, dafs eine derselben (C) mit der Normale der hinteren schiefen Endfläche zusammenfällt. Wird die letztere zur Hauptaxe gewählt und werden die Parameter des Krystalls

$$A : B : C = 0,2795 : 0,3295 : 1$$

angenommen, so sind die beobachteten Formen, auf deren Flächen die Verwitterungsfiguren gemessen sind, folgende zehn ¹⁾:

1) zweigliedrige Formen,

a) Octaëderflächen

$$\begin{array}{l} |111| \\ |124| \text{ (das rhomb. Hauptprisma)} \\ |122|; \end{array}$$

b) Domenflächen

$$|023|;$$

2) eingliedrige Formen,

a) Domenflächen (Hemidomen)

$$\begin{array}{l} |101| \\ |104| \\ |102| \text{ (basische Endfläche)} \\ |904|; \end{array}$$

b) Endflächen

$$\begin{array}{l} |010| \\ |001| \text{ (hintere schiefe Endfläche).} \end{array}$$

1) Bei der Bestimmung des krystallographischen Zeichens der Krystallflächen, nach der durch Miller verbreiteten Methode durch Angabe der Indices, habe ich mich hier und im Folgenden der Winkelmessungen bedient, denen Rammelsberg in seinem Handbuche der krystallographischen Chemie und dem Supplemente dazu (Berlin 1855 und 1857) den Vorzug einräumt.

Es stellt Fig. 1 Taf. III eine Ansicht eines vollkommenen Eisenvitriolkrystalles in der durch die Axen in Fig. 2 näher bezeichneten Stellung dar. Die Kreuze auf den einzelnen Flächen bezeichnen die Axen der Flecke nach ihrer Richtung und andeutungsweise nach ihrer Gröfse. Durch die Messungen hat sich ergeben, dafs auf der Fläche (001) [ebenso auf $(00\bar{1})$] die kleine Axe des Fleckes der gröfseren Krystallaxe B , die gröfsere der kleineren Krystallaxe A parallel ist. Ferner hat sich gezeigt, dafs in der Zone $[000]$ auf den Flächen von $|101|$, $|104|$, $|102|$ und $|904|$ die eine Axe der Flecke (die gröfsere) der Zonenaxe, also der Krystallaxe B parallel ist, und dafs die andere (die kleinere) mit der Flächennormale und der Krystallaxe C in einer Ebene liegt. Auf der Fläche (010) [und $(0\bar{1}0)$] liegt die kleinere Axe des Fleckes der Axe C , die gröfsere der Axe A parallel. In der Zone $[u00]$ läuft auf den Flächen der aufser $|001|$ und $|010|$ allein noch vorhandenen Form $|023|$ die grofse Axe der Flecke parallel der Axe A , die kleinere liegt mit der Flächennormale und C in einer Ebene.

Da aus den im Folgenden mitgetheilten Messungen die Constanz der Axenverhältnisse auf derselben und gleichwerthigen Flächen und die regelmäfsige Aenderung mit dem Werthe der Flächen folgt, somit also die Existenz einer bestimmten Verwitterungsoberfläche wahrscheinlich gemacht ist, so folgt aus der eben angegebenen Lage der Flecke auf den Zonen $[u00]$ und $[000]$, *dafs die rechtwinkligen Axen der Oberfläche genau mit dem eingeführten rechtwinkligen krystallographischen Axensysteme zusammenfallen.*

Auf den Flächen der sehr spitzen Octaëder $|111|$, $|124|$ und $|122|$ liegen die Flecke so, dafs ihre kleinere Axe nahezu mit der Flächennormale und der Axe C in einer Ebene liegt. Man erkennt aus der Lage der Flecke leicht die Nothwendigkeit, sie als Schnitte der Krystallflächen mit derselben Oberfläche anzusehen, auf die die Betrachtung der übrigen Flächen führt. Die Constanz der Axenverhältnisse auf allen Flächen einer dieser Formen, also auch

zweier nicht paralleler Flächen, die sich wie ($\bar{1}24$) und ($\bar{1}\bar{2}4$) in einer der Ebenen AC oder BC schneiden, liefert einen neuen Beweis für das Zusammenfallen der beiderlei Axensysteme.

Die folgenden Tabellen enthalten die auf den verschiedenen Flächen beobachteten Axenverhältnisse der Verwitterungsflecke. Die über den einzelnen Zahlenreihen befindlichen römischen Zahlen bezeichnen die No. des Kristalls, an dem die Beobachtungen angestellt sind. Die Zahl unter dem Strich ist das Mittel aus den darüberstehenden Zahlen.

I. Octaëder $|124|$.

1. Fläche ($\bar{1}24$).

II.	V.	VI.	VII.	VIII.
1,423	1,456	1,454	1,449	1,449
1,400	1,405	1,439	1,434	1,415
1,459	1,453	1,438	1,428	1,437
1,457	1,421		1,426	1,464
1,400	1,449		1,433	
	1,447			
<hr/> 1,428	<hr/> 1,439	<hr/> 1,443	<hr/> 1,434	<hr/> 1,441

Mittel aus diesen 23 Beobachtungen = 1,436.

2. Fläche ($\bar{1}\bar{2}4$).

II.	V.	VI.	VII.	VIII.
1,430	1,446	1,426	1,399	1,412
1,438	1,414	1,463	1,421	1,449
1,412	1,416	1,448		1,453
1,427		1,410		
1,418		1,424		
1,398		1,444		
		1,453		
		1,424		
<hr/> 1,421	<hr/> 1,425	<hr/> 1,437	<hr/> 1,410	<hr/> 1,438

Mittel aus diesen 22 Beobachtungen = 1,428.

3. Fläche

 $(\bar{1}24)$.

II.

1,397

1,393

1,399

1,405

1,402

1,433

1,407.

4. Eine nicht näher bestimmbare

Fläche von $|124|$.

III.

IV.

1,406

1,436

1,410

1,420

1,443

1,430

1,424

1,439

1,418

1,443

1,420

1,434

Das Mittel aus allen 61 Beobachtungen = 1,429 ist in der Folge den Rechnungen zu Grunde gelegt.

II. Octaëder $|122|$.1. Fläche (122) .

II.

III.

V.

VI.

1,543 1,498 1,468 1,496

1,518 1,514 1,499 1,504

1,509 1,529 1,507

1,519 1,497 1,463

1,508 1,529

1,500

1,559

1,568

1,519

1,524

1,484

1,500

Mittel aus diesen 19
Beobachtungen = 1,512.

2. Fläche $(\bar{1}2\bar{2})$.

II.

III.

V.

VI.

1,533 1,489 1,473 1,465

1,500 1,555 1,508 1,476

1,488 1,530 1,488

1,538

1,507

1,528

1,491

1,476

Mittel aus diesen 12
Beobachtungen = 1,504.

3. Fläche $(\bar{1}2\bar{2})$.

II.

1,508

1,510

1,558

1,525.

4. Eine nicht näher bestimmbare

Fläche von $|122|$.

VII.

1,533

1,486

1,490

1,500

1,502.

Das in der Folge benutzte Mittel aus den vorstehenden 38 Beobachtungen ist = 1,509.

Ein Vergleich der bis jetzt gewonnenen Resultate zeigt, daß das Axenverhältniß auf derselben Fläche bei demselben und anderen Krystallen constant ist. Es zeigt aber ferner ein Vergleich der für eine Fläche und die ihr gleichwerthige aber nicht parallele Fläche erhaltenen Zahlen, daß das Axenverhältniß überhaupt für alle Flächen einer und derselben Form denselben constanten Werth hat. So stimmen die Mittelwerthe für $(\bar{1}24)$ und $(\bar{1}\bar{2}4)$, nämlich 1,433 und 1,428, und für (122) und $(1\bar{2}2)$, nämlich 1,510 und 1,504 vollkommen mit einander überein. Ein Blick auf die angegebenen Zahlen zeigt, daß sich dasselbe Resultat mit demselben Grade der Uebereinstimmung schon bei jeder einzelnen der verschiedenen Beobachtungsreihen zeigt, und es würde nicht nöthig gewesen seyn, eine so große Zahl von Beobachtungen anzustellen, um diese Ueberzeugung zu gewinnen. Bei den noch übrigen Formen ist die Zahl der angestellten Beobachtungen auch eine weit geringere. Der Grund weshalb an den zuerst aufgeführten Formen so zahlreiche Messungen ausgeführt sind, liegt darin, daß an diesen hauptsächlich auftretenden Flächen die Erscheinung namentlich auch deshalb untersucht ist, um zu sehen, wie sich verschiedene Krystallexemplare in Bezug auf die Verwitterung verhalten. Das Resultat ist also, *daß die Verwitterung bei verschiedenen Krystallen genau in der gleichen Weise erfolgt.*

III. Hauptoctaëder $|111|$.

1. Fläche $(\bar{1}11)$. 2. Fläche $(\bar{1}\bar{1}1)$.

V.	V.
1,475	1,410
1,457	1,403
1,441	1,421
1,392	1,437
1,439	1,453
1,433	
<hr/> 1,439	<hr/> 1,425

Mittel aus sämmtlichen Beobachtungen = 1,433.

IV. Doma $[023]$.

Grosse Verwitterungsaxe parallel der Krystallaxe A.

3. Eine nicht näher be-

1. Fläche (023) 2. Fläche $(0\bar{2}3)$ stimmbare Fläche von $[023]$

IX.	IX.	XII.	XIII.
1,472	1,471	1,514	1,502
1,489	1,487		1,490
1,457	1,456		1,491
1,456	1,450		1,489
1,484	1,507		
1,487	1,474	1,514	1,493
1,478			
1,467			
1,507			
1,461			
1,456			
1,474			

Mittel aus sämmtlichen 21 Beobachtungen = 1,480.

Es findet auch hier, bei Krystall No. IX eine volle Uebereinstimmung statt zwischen den Werthen des Axenverhältnisses auf den beiden nicht parallelen Flächen. Die Flächen, an denen auf XII und XIII beobachtet ist, können als (023) oder $(0\bar{2}3)$ angesehen werden; die Abweichung der auf diesen Krystallen erhaltenen Werthe von dem ersteren Mittel 1,474 ist nicht grösser, wie bei den einzelnen Zahlen von IX.

V. Hemidoma $[101]$.1. Fläche (101) 2. Fläche $(\bar{1}0\bar{1})$

III.	III.
1,361	1,341
1,338	1,384
1,349	1,330
1,324	1,332
1,358	
1,347	
1,323	
1,343	1,347

Mittel aus allen 11 Beobachtungen = 1,344.

VI. Hemidoma |104|.

Die Beobachtungen haben an zwei Krystallen nur an je einer Fläche angestellt werden können.

IX.	X.
1,081	1,093
1,097	1,114
	1,123
<hr/> 1,089	<hr/> 1,110

Mittel aus den 5 Beobachtungen = 1,102.

VII. Hemidoma |102|.

Die Beobachtungen haben an drei Krystallen auch hier nur an je einer Fläche angestellt werden können.

I.	III.	IV.
1,264	1,289	1,283
1,263	1,254	1,259
1,287	1,245	1,292
	1,267	1,288
	1,268	
<hr/> 1,271	<hr/> 1,265	<hr/> 1,280

Mittel aus allen 12 Beobachtungen = 1,271.

VIII. Hemidoma |904|.

1. Fläche (904)

2. Fläche ($\bar{9}0\bar{4}$)

III.	VI.	VI.
1,400	1,374	1,395
	1,371	1,370
	1,428	
	1,445	
	1,417	
	1,403	
<hr/> 1,400	<hr/> 1,406	<hr/> 1,383

Mittel aus den 12 Beobachtungen = 1,400.

IX. Endflächen |010|.

X.	XI.	XII.	XIII.	XIV.
1,619	1,591	1,591	1,614	1,584
1,575	1,590			1,608
	1,605			1,621
<hr/> 1,597	<hr/> 1,595	<hr/> 1,591	<hr/> 1,614	<hr/> 1,604

Mittel aus allen 10 Beobachtungen = 1,601.

X. Endflächen $|001|$.

1. Fläche (001)		2. Fläche (00 $\bar{1}$)	
III.	IV.	III.	IV.
1,138	1,145	1,186	1,135
1,146	1,137		1,158
1,147	1,174		1,180
	1,183		1,151
	1,154		1,150
	1,145	1,186	1,156
	1,168		
	1,169		
	1,172		
1,144	1,161		

Mittel aus sämmtlichen 18 Beobachtungen 1,158.

Der kleine Werth des Axenverhältnisses und die dadurch bedingte gröfsere Schwierigkeit beim Einstellen der Axen auf die Fäden des Mefsapparates erklärt hier bei $|001|$ sowohl, wie bei $|104|$ die etwas geringere Uebereinstimmung unter den einzelnen Zahlen.

Die hier mitgetheilten Zahlen weichen zum Theil um ein Geringes, und in ein Paar Fällen nicht ganz unbedeutend von denen ab, die in den Göttinger Nachrichten veröffentlicht sind; es bedarf diels einer Erklärung, die im Folgenden gegeben werden soll.

Die Aenderungen, welche die Zahlen von $|124|$ und $|122|$ erfahren haben, sind eine Folge einer späteren beträchtlichen Vermehrung der Beobachtungen. Für $|904|$ war ursprünglich aus Versehen der reciproke Werth 0,907 des beobachteten Axenverhältnisses 1,102 angegeben. Für die Flächen der Zone $[000]$, also der Formen $|001|$, $|023|$ und $|010|$ haben nachträgliche neue Beobachtungen zu einer gröfsen Reduction der anfänglich beobachteten Zahlen geführt. Es ist eine Eigenthümlichkeit der Flächen dieser Zone, wodurch sie sich wesentlich von den übrigen unterscheiden, dafs die Verwitterungsfiguren sich in der Richtung ihrer grofsen Axe häufig langgestreckt, ohne die an der anderen Axe beobachtete scharfe Begränzung ausbil-

den. Der Grund liegt, wie schon früher bemerkt ist, wahrscheinlich in unregelmäßigem, zu raschem Ansteigen der Temperatur bei der Verwitterung. Bei den zuerst untersuchten Krystallen waren die Flächen der Zone $[000]$ in nur geringer Ausdehnung vertreten, und nur wenige Flecke hatten sich auf den Flächen gebildet, so daß durch Vergleich mit anderen ihre Unbrauchbarkeit nicht erkannt werden konnte. Erst nach dem Drucke der vorhin erwähnten Mittheilung, als auf größeren Flächen neuer Krystalle eine große Zahl von Flecken zur Auswahl gegeben war, konnte die Abweichung in der Form beobachtet werden. Es sind darauf an mehreren mit größter Vorsicht verwitterten Krystallen Flecke von allseitig gleichmäßig und scharf.begrenzter Form ausgewählt und gemessen. Die erhaltenen Resultate sind in der Folge den Berechnungen zu Grunde gelegt. Es hat sich gezeigt, daß die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung durch Einführung dieser Werthe befriedigender geworden ist, als sie es vorher war.

10. Die erhaltenen Mittelwerthe der auf den verschiedenen Flächen beobachteten Axenverhältnisse sollen nun dazu benutzt werden, die Natur der Verwitterungsoberfläche zu bestimmen. Es ist bereits bekannt, daß sie eine geschlossene ist und daß ihre Axen mit dem eingeführten rechtwinkligen krystallographischen Axensysteme zusammenfallen. Die dem Augenscheine nach genau elliptische Form ihrer Schnitte mit den Krystallflächen, d. h. der Verwitterungsfiguren, die Möglichkeit eines Kreisschnittes in der Zone $[000]$ und die Analogie der ganzen Erscheinung mit anderen physikalischen Eigenschaften der Krystalle lassen die Annahme, daß die gesuchte Oberfläche ein Ellipsoïd sey, am einfachsten erscheinen. Wenn diese Annahme begründet ist, so müssen die beobachteten Axenverhältnisse der Flecke auf den verschiedenen Flächen den Schnitten der letzteren mit dem Ellipsoïde entsprechen.

Bezeichnen wir die Axen der Oberfläche, entsprechend den Krystallaxen, mit a , b und c , so giebt die Beobach-

tung auf $|010|$ das Verhältniß $a:c$, die Beobachtung auf $|001|$ das Verhältniß $a:b$. Damit sind die drei Axen bekannt, wenn $c=1$ gesetzt wird: Durch die Beobachtung auf $|010|$ ist a direct gemessen, mit Hülfe dieses Werthes muß b aus der Beobachtung auf $|001|$ berechnet werden. Bei der geringen Gröfse des Axenverhältnisses auf $|001|$ ist die Bestimmung von b aus den früher angeführten Gründen nicht so genau, wie die von a . Ich ziehe deshalb für die Ermittlung des Werthes von b die Berechnung desselben mit Hülfe von a aus der Beobachtung auf $|904|$ vor. Die beiden Flächen von $|904|$ sind der Axenebene bc fast parallel, sie geben also den Werth von b , bis auf eine sehr kleine Correction, direct. Die Betrachtung des Ausdrucks für b zeigt, daß diese Correction von ziemlich beträchtlichen Schwankungen im Werthe von a unabhängig ist, so daß der so berechnete Werth von b einer directen Beobachtung gleich zu achten ist. Es können also jedenfalls die Werthe von a , b und c als durch directe Beobachtung gegeben angesehen werden.

Um zu prüfen, ob die Annahme eines Ellipsoides zulässig sey, ist in folgender Weise verfahren. Es sind nach Einführung dieser Annahme aus den Beobachtungen auf den Flächen der Zonen $[x\ 0\ 0]$ und $[0\ 0\ 0]$ die Axen des Ellipsoides berechnet und mit den direct beobachteten Werthen $a:b:c=1,601:1,407:1$ verglichen. Ferner sind aus diesen Werthen umgekehrt, um den Schwierigkeiten auszuweichen, welche hier sonst die vorher benutzten Formeln geboten haben würden, unter derselben Annahme die Axenverhältnisse auf den Flächen von $|111|$, $|124|$ und $|122|$ berechnet und mit den direct beobachteten Axenverhältnissen verglichen. Eine Uebereinstimmung in beiden Fällen zwischen Beobachtung und Rechnung würde den Beweis für die Existenz des Ellipsoides liefern. Die weiter unten mitgetheilten Resultate der Rechnung zeigen, daß diese Uebereinstimmung in der That stattfindet.

Wenn mit α , β , γ die Neigungswinkel der Normale einer Schnittebene (hier der Krystallfläche) mit den Axen a , b , c , bezeichnet werden, so sind die Quadrate der Axen

der Schnittellipse durch die Wurzeln ϱ_1^2 und ϱ_2^2 der quadratischen Gleichung

$$\frac{\cos^2 \alpha}{\frac{1}{a^2} - \varrho^2} + \frac{\cos^2 \beta}{\frac{1}{b^2} - \varrho^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{\frac{1}{c^2} - \varrho^2} = 0 \quad (1)$$

bestimmt. Für die Flächen der Zone $[ooo]$ ist $\beta = 90^\circ$ und die Gleichung reducirt sich auf

$$\left(\frac{\cos^2 \alpha}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{a^2} - \varrho^2 \right) \left(\frac{1}{b^2} - \varrho^2 \right) = 0 \quad (2).$$

Die Quadrate der beiden Schnittaxen sind also in diesem Falle

$$\varrho_1^2 = \frac{\cos^2 \alpha}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{a^2}$$

und

$$\varrho_2^2 = \frac{1}{b^2}.$$

Beobachtet ist das Verhältniß

$$\frac{\varrho_1^2}{\varrho_2^2} = k^2,$$

also die Gleichung, auf die es ankommt, ist:

$$k^2 = b^2 \left(\frac{\cos^2 \alpha}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{a^2} \right) \quad (3)$$

Für die Zone $[u o o]$ findet sich die entsprechende Gleichung, da hier $\alpha = 90^\circ$ ist:

$$k_1^2 = a^2 \left(\frac{\cos^2 \beta}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{b^2} \right) \quad (4).$$

Da $c = 1$ angenommen ist, so lassen sich a und b mit Hülfe dieser beiden Gleichungen durch die beobachteten Größen k und k_1 und durch die bekannten Winkel α , β , γ ausdrücken.

Für die Octaëderflächen wird keiner der drei Winkel 90° , es müßte also die Gleichung (1) direct angewandt werden. Es sind aber in diesen Fällen die direct beobachteten Werthe von a , b und c in (1) eingesetzt, daraus dann das Verhältniß von ϱ_1 zu ϱ_2 , also das Axenverhältniß der Flecke auf der fraglichen Fläche berechnet und mit dem beobachteten Werthe verglichen.

Die angedeuteten Rechnungen sind für die Flächen des

Eisenvitrioles zum größeren Theile durchgeführt. Eine Combination der Flächen (023) und (010), da letztere α direct giebt, würde die Bestimmung von b theoretisch zulassen, aber da (023) sehr scharf gegen c geneigt ist, so würde ein Beobachtungsfehler bei der Bestimmung des Axenverhältnisses auf (023) einen verhältnißmäßig großen Einfluß auf den Werth von b üben. Es sind aus diesem Grunde immer nur Flächen verschiedener Zonen combinirt, weil diese allein Aussicht auf zuverlässige Resultate gewähren.

Die zu den Rechnungen benutzten Zahlen sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Die Winkel der Flächennormale
mit den Krystall- oder Ober-
flächenaxen.

Krystall- form	Beobachtetes Axenverhältniß	α	β	γ
111	1,433	41° 50'	50° 45'	77° 49'
124	1,429	63 44	41 18	69 41
122	1,509	60 43	33 53	74 29
023	1,480	90 0	25 58	64 2
101	1,344	15 37	90 0	74 23
104	1,102	47 53	90 0	42 7
102	1,271	28 40	90 0	61 20
904	1,400	6 58	90 0	83 2
010	1,601	90 0	0 0	90 0
001	1,158	90 0	90 0	0 0

Es hat sich durch die Rechnung ergeben bei der Combination der Beobachtungen auf:

010 und 111	: $b = 1,365$
010 » 124	: $b = 1,315$
010 » 122	: $b = 1,421$
010 » 001	: $b = 1,381$
102 » 010	: $b = 1,371$
101 » 010	: $b = 1,375$
904 » 010	: $b = 1,407$
104 » 010	: $b = 1,352$
904 » 001	: $a = 1,630$

$$|001| \text{ und } |023| : a = 1,547$$

$$|102| \text{ » } |023| : a = 1,551, \quad b = 1,366$$

$$|101| \text{ » } |023| : a = 1,553, \quad b = 1,375$$

$$|904| \text{ » } |023| : a = 1,556.$$

Mit dem auf $|010|$ beobachteten Werthe $a = 1,601$ und dem aus der Combination der Beobachtungen auf $|010|$ und $|904|$ berechneten Werthe 1,407, der, wie schon bemerkt, dem direct beobachteten Werthe gleich zu achten ist, sind unter der Annahme, daß a , b und c die Axen eines Ellipsoides seyen, die Axenverhältnisse auf den drei Octaëdern berechnet. Das Resultat ist folgendes:

Krystallform	Beobachtet	Berechnet
$ 111 $	1,433	1,462
$ 124 $	1,429	1,446
$ 122 $	1,509	1,514

In diesem letzteren Falle genügt die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung allen Anforderungen. Etwas geringer ist sie im ersteren Falle. Berücksichtigt man aber, daß nicht alle Flächen für die Bestimmung der Axen gleich günstig liegen, wie dieß bereits angedeutet ist, so fällt die Bedeutung der kleinen Abweichungen fort. Eine größere Abweichung findet sich übrigens auch nur in dem Falle, wo b aus den Beobachtungen auf $|010|$ und $|124|$ berechnet ist. Bei den übrigen Zahlen liegen die Abweichungen innerhalb der Fehlergränze, wovon eine nähere Betrachtung der angegebenen Beobachtungen leicht überzeugt.

Es geht also aus den Beobachtungen hervor, daß für den Eisenitriol ein Ellipsoid mit den Axen $a:b:c = 1,601:1,407:1$ existirt, dessen Axen mit den Krystallaxen zusammenfallen, dessen Oberfläche die verwitterte Masse begränzt und als dessen Schnitte mit den Krystallflächen die beobachteten Verwitterungsfiguren anzusehen sind.

Um noch eine weitere Bestätigung dieses Resultates zu gewinnen, kann man untersuchen, ob der Kreisschnitt dieses Ellipsoides wirklich an der Stelle liegt, an welcher er nach der Beobachtung der Verwitterungsflecke liegen muß.

Es kann in diesem Falle nur von einer Uebereinstimmung der Beobachtung und der Rechnung innerhalb gewisser Gränzen die Rede seyn, da die Kreisschnittfläche als Krystallfläche am Eisenvitriole nicht auftritt. Nach der Beobachtung der Axenverhältnisse auf den Flächen der Zone [ooo] und der Art, wie von der Fläche (104) die große Axe der Ellipse aus ihrer der Zonenaxe parallelen Lage auf (001) in die dazu senkrechte Richtung übergeht, muß man schließen, daß die Kreisschnittfläche die Kante zwischen (001) und (104) abstumpfen muß. Sie muß mit (001) einen größeren Winkel bilden als den von $137^{\circ} 53'$, unter welchem (104) gegen (001) geneigt ist.

Wenn ϑ der Winkel ist, welchen die der Axe b parallele Kreisschnittfläche mit der Axe a bildet, so ist derselbe als Function der Axen bestimmt durch die Gleichung:

$$\sin^2 \vartheta = \frac{a^2 - b^2}{b^2(a^2 - c^2)}.$$

Es ergibt sich nach Einsetzung der beobachteten Axenwerthe

$$\vartheta = 25^{\circ} 47'$$

und die Neigung der Kreisschnittebene gegen (001) zu $154^{\circ} 13'$, also in der That in einer solchen Lage, daß sie die Kante zwischen (001) und (104) abstumpft.

Es ist noch interessant, zu untersuchen, ob die hier berechnete Kreisschnittebene als Krystallfläche möglich ist, ob sich also für sie ganze Zahlen als Indices bestimmen lassen. Für $C=1$ ergibt sich $A=2,070$. Für die Grundform |111| ist $A=0,2795$. Wir finden, daß $7 \cdot 0,2795 = 1,9565$. Die Abweichung dieser Zahl von 2,070, nämlich 0,113, ist so gering, daß man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen kann, die Kreisschnittebenen entsprechen in Wirklichkeit den Flächen einer Form |107| und können als solche auftreten, wenn sie auch bis jetzt noch nicht beobachtet sind.

Zinkvitriol, $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$; 2- und 2gliedrig.

11. Nächst dem Eisenvitriole zeigt der Zinkvitriol die Verwitterungsflecke am reinsten, vorausgesetzt, daß die

Verwitterung ihren regelmässigen Verlauf genommen hat, und die Verwitterungstemperatur nicht überschritten ist. Er verwittert bei derselben Temperatur wie der Eisenvitriol, etwa 33° C. aber bedeutend schneller, denn während beim ersteren eine halbe bis zu einer ganzen Stunde nöthig ist, um meßbare Flecke zu erzeugen, wird bei diesem dasselbe bereits nach 10 Minuten bis zu einer Viertelstunde erreicht. Ich habe es beim Zinkvitriol immer am zweckmässigsten gefunden, ihn erst dann in das Luftbad zu bringen, wenn dasselbe die erforderliche Verwitterungstemperatur constant zeigt, und ihn die genannte Zeit darin zu lassen. Im Fall die Flecke überhaupt entstehen, erscheinen sie äusserst scharf begränzt von sehr regelmässiger elliptischer Form; sie sind sehr genau zu messen, wenn man dafür sorgt, daß der Krystall nur von oben beleuchtet wird, der Fleck also weifs auf dunklem Grunde erscheint.

Nicht immer gelingt es, wie dies schon früher hervorgehoben ist, die Flecke in der gewünschten Weise hervorzubringen, es erscheinen sehr häufig nur matte Verwitterungsstriche auf den Flächen, unter einander und einer der Axen der Flecke genau parallel. Es scheint, als ob das Entstehen dieser Striche nicht allein in Folge einer Unregelmässigkeit im Ansteigen der Temperatur begründet sey, sondern auch mit von der äusseren Beschaffenheit der Krystalle abhängt. Wenigstens hat sich gezeigt, daß sie namentlich leicht an weniger sorgfältig abgetrockneten Krystallen oder solchen hervortreten, die aus schwach saurer Lösung krystallisirt sind. Krystalle dagegen, die durch allmähliches Verdunsten in einer neutralen Lösung sich gebildet haben und nach sorgfältigem Abtrocknen vollkommen spiegelnde Flächen besitzen, haben nur in den seltensten Fällen die genannten Striche gezeigt; es sind deshalb nur solche Krystalle für die Versuche verwendet.

Der Zinkvitriol gehört dem 2- und 2gliedrigen Systeme an. Die Axen des Grundoctaëders sind:

$$A : B : C = 0,9804 : 1 : 0,5631.$$

Die Zahl der gewöhnlich auftretenden Flächen ist eine weit

geringere, wie sie beim Eisenvitriole beobachtet ist, indessen ist sie immer noch hinlänglich groß, um auch hier die Verwitterungsoberfläche nach Lage und Größe ihrer Axen zu bestimmen. Die Formen, die an den von mir benutzten Krystallen vorhanden waren und auf deren Flächen die Verwitterungsfiguren gemessen sind, sind folgende:

- 1) $|111|$
- 2) $|110|$
- 3) $|010|$
- 4) $|101|$
- 5) $|011|$

Fig. 3 Taf. III giebt eine Ansicht eines vollkommenen Krystalles mit diesen Flächen; Fig. 4 deutet die Richtung der Axen an.

Auf allen diesen Flächen treten die Verwitterungsfiguren gleich deutlich und scharf begrenzt auf, aber es scheint die Verwitterung nicht auf allen Flächen gleich leicht oder doch nicht bei derselben Temperatur vor sich zu gehen; wenigstens hat sich gezeigt, daß die Octaëder- und Domaflächen gewöhnlich noch nicht verwittert waren, wenn auf den Säulenflächen die Flecke bereits vollkommen ausgebildet und für die Messung brauchbar waren. Es scheint dieß im Zusammenhang mit der für verschiedene Flächen verschiedenen Härte zu stehen. Auf die Verwitterungserscheinungen selbst ist es ohne Einfluß.

Es hat sich ergeben, daß ebenso wie beim Eisenvitriol das Axenverhältniß der Flecke auf derselben Fläche ein constantes ist, und daß die Axen auf den Flächen der Hauptzonen nach krystallographisch bevorzugten Richtungen gelegen sind. Die Kreuze auf Fig. 3 deuten die Lage der großen und kleinen Axe der Flecke an. Diese Lage ist auf den verschiedenen Flächen eine solche, und ihr Axenverhältniß ändert sich von einer Form zur andern so, daß daraus auch hier die Existenz einer Verwitterungsoberfläche folgt. Die Richtung der Flecke, der Parallelismus einer ihrer Axen mit gewissen Krystallaxen und die Constanz des Axenverhältnisses auf allen Flächen derselben Form

liefert dann auch hier den Beweis, daß die Axen der Oberfläche mit den Krystallaxen zusammenfallen.

Die folgenden Tabellen enthalten die auf den verschiedenen Formen und Flächen beobachteten Axenverhältnisse der Verwitterungsfiguren:

I. Säule $[110]$.

Die große Axe ist parallel den Säulenkannten, also der kleinsten krystallographischen und Hauptaxe.

1. Säulenfläche (110)		2. Fläche $(0\bar{1}0)$	
III.	XVII.	III.	XVII.
1,310	1,333	1,335	1,304
1,339	1,314		1,326
	1,329	1,335	1,315
	1,312		
	1,294		
1,325	1,316		

3. Eine einzelne nicht näher bestimmbare Fläche.

I.	II.	XVI.
1,361	1,317	1,305
1,307	1,347	1,331
1,348		
1,325		
1,327		
1,336	1,332	1,318

Das Mittel aus sämtlichen 19 Beobachtungen ist = 1,323.

II. Flächenpaar $[010]$.

Die große Axe ist wie bei $[110]$ parallel den Säulenkannten und der Krystallhauptaxe.

I.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1,247	1,215	1,240	1,263	1,247	1,231
1,223			1,239	1,218	
			1,252	1,223	
			1,273	1,247	
				1,249	
				1,237	
1,235	1,215	1,240	1,257	1,237	1,231

Das Mittel aus sämtlichen 15 Beobachtungen ist = 1,240.

III. Octaëder $|111|$.

Wird durch den Mittelpunkt des Fleckes die Flächen-
normale und durch diese und die Hauptaxe C eine Ebene
gelegt, so läßt sich die Lage der Flecken hier näher
so bezeichnen: Es tritt das obere Ende der großen
Axe auf (111) und $(\bar{1}\bar{1}1)$ nach rechts, auf $(\bar{1}11)$ und $(1\bar{1}1)$
nach links aus dieser Ebene heraus.

1. Fläche $(\bar{1}11)$; 2. Fläche (111) ; 3. Fläche $(1\bar{1}1)$;

IX.	XIII.	XIV.	IX.	XIII.	XIV.
1,156	1,139	1,139	1,145	1,146	1,136
		1,122			
		1,136			
<hr/> 1,156	<hr/> 1,139	<hr/> 1,132	<hr/> 1,145	<hr/> 1,146	<hr/> 1,136

4. Eine nicht näher bestimmte Fläche.

X.	XI.	XII.	XV.
1,170	1,140	1,148	1,136
			1,111
			1,118
<hr/> 1,170	<hr/> 1,140	<hr/> 1,148	<hr/> 1,122

Das Mittel aus den 14 Beobachtungen ist $= 1,139$.

IV. Doma $|101|$.

Große Axe parallel der Octaëderkante, deren Abstumpfung die betreffende Domenfläche ist. Die Domenflächen treten selten in größerer Ausdehnung auf, es haben deshalb nur an einem Krystalle an einer größeren Fläche drei Flecke gemessen werden können, die aber äußerst scharf ausgebildet waren.

VIII.
1,211
1,197
1,199
<hr/> 1,202

V. Doma $|011|$.

Diese Form, die gerade Abstumpfung der scharfen Octaëderendkanten, tritt noch seltener als die vorhergehende auf und es ist mir nur ein einziges Mal geglückt, sie über-

haupt an einem Krystalle zu beobachten. Auf einer dieser Flächen fand sich nur ein Fleck, aber ein sehr scharf ausgebildeter. Seine große Axe lag senkrecht zu der Octaëder-Kante, durch deren gerade Abstumpfung diese Domenfläche gebildet ist. Beobachtet wurde das Verhältniß der kleinen zur großen Axe.

XVII.

0,9408.

12. Nach den vorliegenden Beobachtungen erscheinen auch hier beim Zinkvitriol die Flecke als die Schnitte einer bestimmten geschlossenen Verwitterungsoberfläche. Aus dem Parallelismus der großen Axe der Flecke auf den Säulenflächen $|110|$ und $|010|$ folgt, daß eine der Oberflächenaxen mit der Krystallaxe C zusammenfällt. Der Parallelismus der großen Axe auf $|101|$ und der kleinen auf $|011|$ mit den entsprechenden Octaëderkanten, sowie die Constanz des Axenverhältnisses auf allen Octaëderflächen zeigt ferner, daß auch die beiden übrigen rechtwinkligen Axen der Oberfläche mit den beiden übrigen rechtwinkligen Krystallaxen zusammenfallen.

Die dem Augenscheine nach genau elliptische Form aller verschiedenen Flecke führt auch hier dazu, für die Oberfläche ein Ellipsoid anzunehmen. Um die Frage zu entscheiden sind hier in derselben Weise, wie beim Eisenvitriole nach Einführung der Gleichung eines Ellipsoides die Axen desselben aus den Beobachtungen auf den Flächen der Formen $|110|$, $|010|$, $|101|$ und $|011|$ bestimmt. Mit den so ermittelten Werthen ist dann das Axenverhältniß auf $|111|$ berechnet und mit der Beobachtung verglichen.

In der folgenden Tabelle sind die zu dieser Rechnung nöthigen Größen zusammengestellt: Die Mittelwerthe der auf den verschiedenen Flächen beobachteten Axenverhältnisse und die Winkel α , β , γ , welche von den Flächennormalen und den Krystallaxen A , B , C eingeschlossen werden.

Krystall- form	Beobachtetes Axenverhältniß	Winkel der Flächennormale mit den Krystall- oder Oberflächenaxen.		
		α	β	γ
111	1,139	63° 24'	63° 58'	38° 49'
110	1,323	44 28	45 32	90 0
010	1,240	90 0	0 0	90 0
101	1,202	60 8	90 0	29 52
011	0,941	90 0	60 37	29 23

Die Beobachtung auf |010| giebt direct das Verhältniß von $c:a$. Es soll $a=1$ angenommen werden, dann ist also $c=1,240$. Mit diesen Werthen berechnet sich die Axe b aus den Beobachtungen auf:

$$|110| \text{ zu } b = 0,8918$$

$$|101| \text{ „ } b = 0,8708$$

$$|011| \text{ „ } b = 0,8878$$

Die Uebereinstimmung dieser drei Werthe muß als vollkommen genügend bezeichnet werden, um darin einen Beweis zu sehen, daß auch beim Zinkvitriol ein *Ellipsoid* die Verwitterungsfläche ist. Es ist zwar auf |011| nur eine einzige Ellipse gemessen worden, sie war indessen vollkommen tadellos in der Form, hinreichend groß und sehr scharf begrenzt, so daß ich die Beobachtung vollkommen brauchbar zur Bestimmung von b halte. Nehmen wir für b das Mittel aus den drei obigen Zahlen $= 0,8835$ als wahrscheinlich richtigsten Werth an, so sind die drei Axen des Verwitterungsellipsoids hier

$$a:b:c = 1:0,8835:1,240,$$

oder wenn wir $b=1$ setzen,

$$a:b:c = 1,132:1:1,404.$$

Diese drei Axen fallen der Reihe nach zusammen mit den Krystallaxen:

$$A:B:C = 0,9804:1:0,5631.$$

Mit den so bestimmten Werthen von a , b und c ist sodann das Axenverhältniß auf den Octaëderflächen berechnet. Es hat sich zu 1,060 ergeben statt des beobachteten Werthes 1,139.

Die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beob-

achtung ist in diesem Falle geringer als in den entsprechenden Fällen beim Eisenvitriole. Sie erscheint indeß noch hinreichend groß, um auch in der berechneten Zahl 1,060 einen weiteren Beweis für die Zulässigkeit des vorhin bestimmten Ellipsoides zu sehen.

13. Die über die Ursache der Erscheinung im Anfange dieser Abhandlung ausgesprochene Ansicht findet insofern ihre Bestätigung, als sowohl beim Eisenvitriole wie beim Zinkvitriole immer die kleinere Verwitterungsaxe mit der größeren Krystallaxe zusammenfällt. Ein allgemeines Gesetz über den Größenzusammenhang zwischen den beiderlei Axen läßt sich nach den vorliegenden Beobachtungen noch nicht übersehen, ein sehr einfaches wird es aber kaum seyn. Es läßt sich nur vermuthen, wie das oben schon ausgesprochen ist, daß die Verwitterungsaxen in den Fällen sich umgekehrt wie die Krystallaxen verhalten werden, in welchen die verwitterte Masse völlig wasserfrei ist, was weder beim Eisenvitriol noch Zinkvitriol der Fall ist. Weitere Versuche mit solchen Salzen, die bei der gewöhnlichen Verwitterungstemperatur völlig wasserfrei werden, wie z. B. das Glaubersalz, werden über diesen wichtigen Punkt die nöthige Aufklärung geben.

14. Aus den Gründen, die bereits in der Einleitung angegeben sind, muß man bei allen den Krystallen ein Verwitterungs-Ellipsoid erwarten, deren rechtwinklige Krystallaxen verschieden groß sind. Sind die Axen einander gleich, ist der Krystall also regulär, so muß die Verwitterungsoberfläche eine Kugel seyn. Die Beobachtung am Chromalaun hat dies bestätigt. Sind zwei der Axen gleich, oder ist allgemein — um auch das 6gliedrige System in der gebräuchlichen Stellung in diese Betrachtung aufnehmen zu können — der Krystall um eine der Axen symmetrisch ausgebildet, so hat man ein um diese Axe gebildetes *Rotationsellipsoid* zu erwarten. Die Beobachtung der Verwitterungsfiguren am 4gliedrigen Blutlaugensalze hat auch hier die Ansicht bestätigt. Es sind bei diesem Salze auf der Endfläche genaue Kreise beobachtet, auf den Octaëder-

flächen dagegen Ellipsen. Wenn die Beschaffenheit dieses Salzes es nun auch nicht gestattet hat, die Flecke unter dem Mikroskope zu messen und die Beobachtung auf die Betrachtung mit bloßem Auge beschränkt bleiben mußte, so ist trotzdem die Uebereinstimmung mit der Ansicht klar hervorgetreten. Das bloße Auge erkennt mit großer Schärfe die dem genauesten Meßapparate Nichts nachgiebt, ob eine Figur ein Kreis ist oder ob sie davon abweicht; und darauf kam es hier allein an. Es konnte trotz der geringen Schärfe der Flecke die Kreisform sicher erkannt werden. Die Ellipsen auf den Octaëderflächen hatten die der Ansicht entsprechende Lage: es war die eine Axe den Grundkanten des Octaëders parallel und nach ihrer Größe lagen die beiden Axen so, wie es das Größenverhältniß der Krystallaxen erforderte: Die kleinere Axe liegt mit der Flächennormale und der größeren Krystallaxe, der Hauptaxe, in einer Ebene.

Unterschwefelsaures Bleioxyd, $\text{PbS}_2\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$, 6gliedrig.

Aus denselben Gründen wie beim 4gliedrigen Systeme sollte man nun auch beim 6gliedrigen Systeme als Verwitterungsoberfläche ein Rotationsellipsoid erwarten, dessen Rotationsaxe mit der Hauptkrystallaxe zusammenfielen, um die die Krystalle dieses Systemes symmetrisch gebildet sind. Es müßten bei Salzen dieses Systemes auf der Endfläche senkrecht zur Hauptaxe, Kreise, auf allen übrigen Flächen dagegen Ellipsen beobachtet werden. Die Ellipsen müßten als solche um so kenntlicher hervortreten, ihr Axenverhältniß müßte um so größer seyn, je größer das Verhältniß der krystallographischen Axen wäre.

Für diese Untersuchung brauchbare Krystalle des 6gliedrigen Systemes sind selten. Es ist mir nicht möglich gewesen, säulenförmige Salze ausfindig zu machen, ich habe die Untersuchung deshalb auf rhomboëdrische Formen beschränken müssen. Es liefs sich indess voraussehen, daß bei einem möglichst großen Werthe des krystallographischen Axenverhältnisses das Verhalten dieser Salze in Be-

ziehung auf die Verwitterung genügend würde festgestellt werden können. Es scheinen sich die 6gliedrigen unterschwefelsauren Salze von Bleioxyd, Kalk und Strontian ganz besonders für diese Untersuchung zu eignen. Durch die Güte der HH. Obermedicinalrath Wöhler und Prof. Wicke in Göttingen und Dr. Kraut in Hannover ist mir eine so reichliche Menge dieser Salze zur Benutzung überlassen, daß mit Leichtigkeit gute Krystalle dargestellt werden konnten.

Von diesen Salzen ist zunächst das Bleisalz untersucht, weil es namentlich leicht in großen, äußerst scharf ausgebildeten Krystallen erhalten werden kann. Außerdem eignet es sich von allen 6gliedrigen unterschwefelsauren Salzen ganz besonders zu dieser Untersuchung, weil es am Leichtesten verwittert. Es verwittert bei etwa 53° C. und giebt sehr scharf begränzte Verwitterungsfiguren, dagegen das Kalk- und Strontiansalz erst bei etwa 78° C. verwittern. Es krystallisirt rhomboëdrisch. Das Verhältniß seiner Krystallaxen ist, wenn *C* die Hauptaxe bezeichnet,

$$A : C = 1 : 1,4696.$$

Die an den benutzten Krystallen vorhandenen Formen, auf denen die Verwitterungserscheinungen beobachtet werden konnten, waren das Hauptrhomboëder *r*, das erste stumpfere Rhomboëder *r'* und die Endfläche *e*. Fig. 5 Taf. III zeigt den vollständigen Krystall.

Wie schon bemerkt ist, tritt bei diesem Salze die Erscheinung besonders deutlich auf, daß gewisse Flächen schwieriger als andere verwittern. Die Flächen des ersten stumpferen Rhomboëders sind bei vorsichtiger Erhöhung der Temperatur gerade bis zum Beginne der Verwitterung noch völlig unverletzt und spiegelnd, während die Flächen des Hauptrhomboëders und die Endfläche bereits mit vielen Verwitterungsfiguren bedeckt sind. Es geht so weit, daß die letzteren Flächen völlig verwittern können, und daß die ersteren erst dann von der gemeinschaftlichen Kante her angegriffen werden.

Nach dem Obigen waren auf der Endfläche genaue Kreise, auf den Rhomboëderflächen dagegen Ellipsen zu erwarten. Die Ellipsen mußten bei dem angegebenen Werthe des krystallographischen Axenverhältnisses ziemlich langgestreckt erscheinen, am längsten auf den Flächen des schärferen Hauptrhomböders.

Die Beobachtung hat nun auf der Endfläche allerdings Kreise ergeben, aber auf den Rhomboëderflächen nicht Ellipsen, sondern auffallender Weise und gegen alle Erwartung gleichfalls genaue Kreise. Die Kreise waren auf allen Flächen äußerst scharf begrenzt. Wie schon an einer andern Stelle ausgesprochen ist, läßt sich durch die Beobachtung mit bloßem Auge äußerst genau entscheiden, ob eine Figur ein Kreis ist oder nicht, wenn es sich nur um diese beiden Gegensätze handelt. In dem vorliegenden Falle habe ich mich aber nicht auf diese Art der Beobachtung beschränkt, es schien mir zu wichtig, die Zuverlässigkeit der Beobachtung durch weitere Zahlenangaben zu unterstützen. Ich habe deshalb das Verhältniß zweier, nach zwei beliebig gewählten senkrechten Richtungen gelegenen Durchmesser der Flecke an verschiedenen Krystallen gemessen. Als eine der Richtungen wurde gewöhnlich eine einer Kante der beobachteten Fläche parallele Linie gewählt. Die Resultate dieser Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle enthalten:

I. Endfläche.			II. Hauptrhomböder.	
I.	III.	V.	III.	IV.
1,033	1,003	0,998	1,012	1,006
0,990		0,980	1,053	0,985
0,990		1,014	0,991	
		0,997	0,991	0,996
<hr/> 1,001	<hr/> 1,003	<hr/> 0,997	Mittel aus den	
Mittel aus den 8 Beob-			5 Beobachtungen	
achtungen = 1,001.			= 1,009	

III. Erstes stumpferes Rhomboëder.

I.	II.
0,947	1,058
1,000	1,026
1,006	0,995
1,024	0,993
0,998	
0,993	
<hr/> 0,995	<hr/> 1,018

Mittel aus den 10 Beobachtungen = 1,004.

Hiernach wird an der vollen Richtigkeit der auffallenden Beobachtung nicht mehr gezweifelt werden können. Eine weitere Bestätigung erhält sie dadurch, daß der *unterschwefelsaure Kalk*, $\text{CaS}_2\text{O}_6 + 4\text{H}_2\text{O}$, sich genau ebenso verhält, wie das Bleisalz. Das Verhältniß der Krystallaxen ist bei demselben:

$$A : C = 1 : 1,5024.$$

Es treten neben der Endfläche noch Rhomboëderflächen auf, die nicht näher bestimmt sind. Das Salz verwittert erst bei 78°C. , zeigt dann aber sehr scharf begränzte Verwitterungsfiguren, die sich auf allen Flächen als genaue Kreise erweisen. Messungen, wie beim Bleisalze, habe ich hier nicht ausgeführt, ich habe mich auf die sorgfältige Prüfung einer großen Zahl von Figuren unter dem Mikroskope ohne Anwendung des Messapparates beschränkt. Aber in keinem Falle sind Formen bemerkt, die auf ein Verwitterungs-Ellipsoid hätten hindeuten können. Die Axen *A* und *C* sind auch hier sehr von einander verschieden, so daß sehr langgezogene Ellipsen hätten erscheinen müssen, wenn sie überhaupt gebildet würden.

In derselben Weise verhalten sich der unterschwefelsaure Strontian und das Doppelsalz aus diesem letzteren und dem Bleisalze. Beide Verbindungen zeigen neben verschiedenen Rhomboëderflächen die Endfläche. Sie ver-

wittern bei etwa 78° C. und bez. 53° und zeigen auf sämtlichen Flächen äußerst scharf ausgebildete genaue Kreise.

Zur weiteren Untersuchung der Verwitterungserscheinungen an 6gliedrigen Krystallen hoffe ich noch an anderen Salzen beobachten zu können. Indefs glaube ich, die Beobachtungen an den genannten Salzen beweisen es bereits hinlänglich, *dass die 6gliedrigen Krystalle überhaupt sich in Beziehung auf die Verwitterung wie reguläre Krystalle verhalten, dass also bei ihnen die Verwitterungs-oberfläche immer eine Kugel ist.*

15. Die hier festgestellte Thatsache kann bei weiterem Verfolg und wenn es gelingt, sie mit anderen Erscheinungen in Zusammenhang zu bringen, möglichen Falls von Bedeutung für die Krystallographie, wie überhaupt die Physik der Krystalle werden. Denn von Wichtigkeit muss es immer seyn, Krystalle aus zwei Systemen, die nach der gebräuchlichen Betrachtungsweise so durchaus von einander verschieden sind, wie das reguläre und das 6gliedrige, sich ganz gleich verhalten zu sehen in Beziehung auf eine physikalische Erscheinung, die Verwitterung, die nach Beobachtungen an Krystallen anderer Systeme im engsten Zusammenhange mit dem Krystallsysteme steht.

Um nur auf einen Fall aufmerksam zu machen, bemerke ich Folgendes. Es kommt vor, dass es durch die Winkelmessung allein nicht genügend festgestellt werden kann, ob ein Krystall zum 6gliedrigen oder zum 2- und 2gliedrigen Systeme gehört, weil die Abweichungen der Winkel von denen der genau 6gliedrigen Form nicht viel größer als die Beobachtungsfehler sind. So hat man lange Zeit den 2- und 1gliedrigen Eisenvitriol für rhomboëdrisch gehalten, obwohl die Abweichung der betreffenden Winkel nahezu 2° beträgt. Bei diesem Salze haben die verbesserten Hilfsmittel der Winkelmessung und die Beobachtung seiner übrigen physikalischen Eigenschaften für das 2- und 1gliedrige System entschieden. Bei der Verbindung von Chlornatrium und Traubenzucker ist man noch jetzt zweifelhaft ob sie 6gliedrig-rhomboëdrisch oder 2- und 2gliedrig kry-

stallisire¹⁾), die Differenz der betreffenden Winkel beträgt hier nur wenige Minuten. Es scheint als ob die übrigen physikalischen Eigenschaften dieser Substanz nicht klar genug hervortreten, um mit ihrer Hülfe die Frage zu entscheiden. Die Verbindung enthält Krystallwasser, würde sie nun verwittern, so könnte die Beobachtung der Verwitterungserscheinung die Frage sofort mit großer Sicherheit entscheiden. Das Verhältniß der krystallographischen Axen ist sehr beträchtlich und im Falle die Substanz 2- und 2gliedrig wäre, müßten sehr langgezogene Ellipsen auftreten, Kreise dagegen, wenn sie 6gliedrig wäre. Es scheint mir diese Frage so interessant, daß ich nicht unterlassen werde, den angedeuteten Versuch zu machen.

Abgesehen von diesem speciellen Falle geht aus dem Angeführten jedenfalls hervor, daß man in der Verwitterung ein Mittel besitzt, das unter gewissen Verhältnissen zweifelhafte Fälle mit einer Sicherheit entscheiden kann, wie kaum ein anderes.

Für den Augenblick wird es vielleicht noch zu früh seyn, das auffällige gleiche Verhalten der regulären und 6gliedrigen Krystalle mit größter Bestimmtheit aus einem einzigen Gesichtspunkte abzuleiten und zu erklären. Es würde sich als solcher am nächsten darbieten, beide Krystallssysteme als Abänderungen eines und desselben Systemes zu betrachten. Wenn ein solcher Schritt augenblicklich noch nicht mit Sicherheit geschehen kann, so wahrscheinlich er nach den vorliegenden Beobachtungen auch früher oder später nöthig seyn wird, so wird es doch von Interesse seyn, schon jetzt auf ein paar Punkte aufmerksam zu machen, die außerdem für eine solche Annahme zu sprechen scheinen.

Der Hauptpunkt, welcher dieser Ansicht günstig zu seyn scheint, ist der, daß die Formen des regulären und des 6gliedrigen Systemes sich wirklich aus einander ableiten lassen. Man kann die Formen des regulären Systemes als specielle Fälle einzelner oder von Combinationen mehrerer

1) Rammelsberg, Handbuch der krystallogr. Chemie S. 400.

Formen des 6gliedrigen Systemes betrachten. So stellt sich der Würfel als ein Rhomboëder von 90° dar, das Octaëder als ein Rhomboëder mit der Endfläche, das Granatoëder als ein Rhomboëder mit dem zweiten Prisma usw. Man wird hiergegen einwenden, daß bei der Axenstellung, wie sie bei der Verallgemeinerung nöthig wäre, die Flächenzeichen nicht so einfach werden und damit eine Grundeigenschaft der Krystalle unberücksichtigt bleibe. Es mag seyn, daß die gewöhnlich gebrauchten vier Axen, von denen drei unter einander gleiche in einer Ebene liegen, oder die drei gleichen Axen, welche Miller ¹⁾ seinen Betrachtungen zu Grunde legt, einfachere Zeichen für die 6gliedrigen Krystalle geben, und für krystallographische Zwecke wird gegen die Wahl solcher Axen aus Gründen der Zweckmäßigkeit Nichts zu erinnern seyn. Aber ich glaube, daß dies in keiner Weise einen Grund abgeben würde, die Verschmelzung beider Systeme überhaupt aufzugeben.

Ferner spricht für einen im inneren Bau der Krystalle des regulären und des 6gliedrigen Systemes begründeten innigen Zusammenhang das gleiche optische Verhalten einzelner Krystalle beider Systeme. Es zeigt sich in beiden Systemen die Circularpolarisation, die an Krystallen anderer Systeme nicht beobachtet ist.

16. Die in der vorstehenden Abhandlung mitgetheilten Resultate, sowohl die durch beigefügte Messungen der Verwitterungsfiguren erläuterten Beobachtungen, als die ohne solche nur in ihren Hauptpunkten dargestellten Erscheinungen der Verwitterung an anderen Krystallen, wie sie dem Auge ohne jede Messung erscheinen, lassen keinen weiten Zweifel an der Existenz einer für jeden Krystall bestimmten Verwitterungsoberfläche. Diese Oberfläche ist ein dreiaxiges Ellipsoid im allgemeinsten Falle und reducirt sich in speciellen Fällen auf ein Rotationsellipsoid oder eine Kugel. Weitere Messungen an den verschiedenen Krystallen werden in dieser Beziehung nichts Neues mehr liefern, als vielleicht die genaue Bestimmung der Axen des

1) Miller's Krystallographie von Grailich, S. 73.

jedesmaligen Ellipsoides. Eine solche Bestimmung kann an und für sich aber nur ein beschränkteres Interesse beanspruchen.

Wenn ich dessen ungeachtet die Absicht habe, die Zahl meiner Beobachtungen zu vermehren und weitere genaue Messungen an verschiedenen Krystallen auszuführen, so geschieht das in der Ueberzeugung, daß die hier beobachtete Erscheinung eine weit allgemeinere Bedeutung besitzt, als es auf den ersten Anblick scheinen mag, und daß ein größeres Beobachtungsmaterial für andere Fragen von Wichtigkeit werden kann, bei denen es sich um weitere Erforschung der Natur krystallisirter Körper handelt.

Es hat der Nachweis des neuen Axensystemes, das man vielleicht zweckmäfsig und einfacher als das *chemische Axensystem* bezeichnet, zwar auch an und für sich großes Interesse, weil es nächst dem krystallographischen Systeme das einzige ist, welches sich unmittelbar beobachten läßt. Aber weit wichtiger ist wohl der Umstand, daß es mit dem krystallographischen Systeme zusammenfällt, und daß ein directer Zusammenhang zwischen den Werthen der gleichgerichteten krystallographischen und chemischen Axen eines Krystalles besteht. Wenn der Größenzusammenhang nach den vorhandenen Beobachtungen auch noch nicht festgestellt werden kann, so ist doch nach der mitgetheilten Thatsache, daß regelmäfsig die kleinere chemische Axe mit der größeren krystallographischen zusammenfällt, nicht daran zu zweifeln, daß er überhaupt besteht. Die genaue Feststellung dieses Zusammenhanges muß eine der Hauptaufgaben weiterer Beobachtungen auf diesem Gebiete seyn.

Die Beobachtung der Verwitterungserscheinungen kann vielleicht auf die Krystallographie selbst von Einfluß werden. Sie giebt einmal ein sehr brauchbares Mittel ab, um in zweifelhaften Fällen über die krystallographische Natur einer Substanz zu entscheiden, wenn die Beobachtung der Winkelverhältnisse hierzu nicht ausreicht. Dieser Punkt ist eingehender in §. 15 bereits besprochen. Es wird aber das Verwitterungsgesetz auch auf die krystallographische

Anordnung der krystallisirten Substanzen überhaupt, auf die Art des zu wählenden Axensystemes von Einfluß seyn. Man hat es vielfach vorgezogen, gewisse Krystallformen auf schiefwinklige Axen zu beziehen, wie die des 2- und 1gliedrigen und des 1- und 1gliedrigen Systemes. Geschieht dieß aus Gründen der Zweckmäßigkeit, allein in der Absicht, für die Flächenausdrücke einfachere Zahlen zu erhalten, so wird man sich vom krystallographischen Standpunkte aus damit einverstanden erklären. Glaubt man aber die Wahl solcher schiefwinkligen Systeme als in der Natur der krystallisirten Substanzen begründet erklären zu müssen, wie das in der That geschehen ist¹⁾, so lassen sich dagegen gewichtige Bedenken geltend machen. Es zeigt sich bei keiner physikalischen Erscheinung an Krystallen die Nothwendigkeit, dieselbe auf ein schiefwinkliges Axensystem zu beziehen, bei allen sieht man vielmehr, daß stets auf ein rechtwinkliges Axensystem hingewiesen ist. Die optischen Erscheinungen in Krystallen müssen auf ein rechtwinkliges Axensystem bezogen werden, ebenso die der Wärmeleitung und der Elektricitätsleitung. Wenn die verschiedenen physikalischen Axensysteme auch nicht immer mit den krystallographischen zusammenfallen, so steht doch fest, daß die Vorgänge im Inneren der Krystalle sich stets auf rechtwinklige Axen beziehen und es wird dadurch wahrscheinlich, daß auch für die äußere Form des Krystalles, für die man doch sonst einen Zusammenhang mit dem inneren Bau annimmt, ein rechtwinkliges System das naturgemäßere sey. Dafür spricht ferner, daß durch ein rechtwinkliges System die Symmetrie überall vollkommen ermöglicht wird. Berücksichtigt man nun aber die Verwitterungserscheinungen und den Umstand, daß das chemische Axensystem stets auch die Krystalle symmetrisch theilt, daß die Verwitterung nothwendig mit dem inneren Bau der Krystalle im engsten Zusammenhang stehen muß, so wird man nicht umhin können dieß rechtwinklige Axensystem

1) Naumann, Elemente der theoret. Krystallogr. 1856., S. 313, Anm.

auch als das allein naturgemäße für die krystallographische Betrachtung der Krystalle bezeichnen zu müssen.

Der directe einfache Zusammenhang zwischen dem Krystallssysteme und der Art, wie hier die Abscheidung des chemisch gebundenen Wassers erfolgt, macht es wahrscheinlich, daß die hier beobachtete Gesetzmäßigkeit sich nicht auf die Verwitterungserscheinungen allein beschränkt. Sie wird sich wahrscheinlich in ähnlicher Weise überall da wiederfinden, wo von einer krystallisirten chemischen Verbindung ein Bestandtheil durch irgend welche gleichmäßig und constant wirkende Ursache getrennt wird. So wird z. B. der Fortgang der Kohlensäure aus kohlensauren Salzen, oder von Ammoniak aus krystallisirten Ammoniakverbindungen auf den Krystallflächen ähnliche vom Krystallssysteme bedingte Figuren hervorrufen. Es wird sich ebenso ein ähnliches Verhältniß zeigen, wo überhaupt ein überall gleichmäßiger chemischer Angriff einer krystallisirten Substanz stattfindet, einerlei, ob ein Bestandtheil durch das angreifende Mittel entfernt wird oder nicht, oder ob, wie z. B. bei der Oxydation von Metallen ein Körper neu hinzutritt, weil hierbei die innere Anordnung der Bestandtheile des Krystalles in Frage kommt.

Meine Absicht ist es, die Untersuchung auch nach der angedeuteten Richtung hin auszudehnen, sobald es mir gelingen seyn wird, die Beobachtungen über die Verwitterung wasserhaltiger Krystalle zu einem allseitig befriedigenden Abschlusse zu bringen.

Göttingen, den 21. April 1865.

II. Ueber die innere Reibung der Gase; von Oskar Emil Meyer.

(Schluss von S. 420.)

§. 5.

Beobachtungen zur Prüfung der Methode.

Im vorletzten Paragraphen ist ein Umstand erwähnt worden, durch welchen meine Bestimmungen der Luftreibung fehlerhaft geworden seyn können. Ehe ich die Messungen selbst mittheile, will ich die Beobachtungen anführen, welche ich unternommen habe, die Grösse dieser Fehler zu beurtheilen. An diese werde ich die Beurtheilung der Mängel der Methode anschliessen, welche Sabine und Baily zur Bestimmung der Bessel'schen Pendelcorrection benutzt haben.

Die hauptsächlichste Voraussetzung, auf welche die Theorie sich stützt, ist die, daß die auf einander folgenden Schwingungsamplituden des Scheibenapparats eine geometrische Reihe bilden. Zu zeigen, bis zu welchem Grade diese Voraussetzung berechtigt ist, theile ich als Beispiel die beobachtete Reihe von Amplituden mit, auf welcher die Bestimmung eines bereits erwähnten Werthes des logarithmischen Decrements beruht, nämlich die am 23. September 1862 ausgeführte Bestimmung $\varepsilon = 0,00301$ für den Apparat mit Messingscheiben (§. 4, S. 415).

beobachtet	berechnet	Differenz
10° 51' 0"	10° 48' 9"	— 2' 51"
9 28 20	9 27 42	— 0 38
8 17 10	8 17 13	+ 0 3
7 15 0	7 15 30	+ 0 30
6 21 0	6 21 26	+ 0 26
5 33 30	5 34 5	+ 0 35
4 52 30	4 52 37	+ 0 7
4 16 0	4 16 17	+ 0 17

beobachtet	berechnet	Differenz
3° 44' 20"	3° 44' 29"	+ 0' 9"
3 16 50	3 16 37	— 0 13
2 52 10	2 52 12	+ 0 2
2 31 10	2 30 50	— 0 20

In dieser Tabelle stehen unter der Ueberschrift »beobachtet« die Winkelwerthe, welche aus den auf der geraden Scale abgelesenen Tangenten der doppelten Winkel unter Benutzung der gemessenen Entfernung der Scale von der Drehungsaxe des Apparats berechnet worden sind. Der mögliche Fehler jeder dieser Zahlen beträgt etwas mehr als 10 Secunden. Diese Reihe ist der Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate unterworfen worden, indem der Logarithmus des richtigen Werthes des ersten Winkels und das logarithmische Decrement als unbekannte Größen angesehen wurden. Aus den berechneten Werthen derselben sind dann rückwärts die Winkel berechnet worden. Diese berechneten Werthe, welche also genau eine geometrische Reihe bilden, sind in der zweiten Columne unter »berechnet« aufgeführt. Die dritte enthält die Differenzen der beobachteten und berechneten Werthe, welche, wie man sieht, fast ganz innerhalb der Gränzen der möglichen Beobachtungsfehler liegen.

Dann habe ich mir die Aufgabe gestellt, durch eine Reihe von Beobachtungen zu entscheiden, ob die Bewegung des Apparates durch die Wände des abgeschlossenen Raumes, in dem er aufgehängt war, merklich gehindert wurde. Zu diesem Zwecke maß ich das logarithmische Decrement der Amplituden des Apparates, wenn dessen Scheiben in verschiedenen Abständen von einander, also auch vom Boden und Deckel der Glocke, sich befanden. Diese Messungen sind genügend, die angeregte Frage zu entscheiden. Denn wenn die Tiefe der Glocke ausreichend ist, um die Uebertragung der Bewegung von den Scheiben bis zum Deckel oder bis zum Boden der Glocke unmöglich zu machen, so muß das logarithmische Decrement, wenn man die Scheiben einander nähert, in der Weise abneh-

men, daß es anfangs rasch, dann langsamer sich verringert, darauf eine Weile nahe constant bleibt, um dann wieder anfangs langsamer, dann rascher bis auf etwas mehr als den dritten Theil jenes constanten Werthes abzunehmen. Denn bei weiten Entfernungen der Scheiben von einander wird sich der hemmende Einfluß der Wände auf die äußeren Scheiben stark bemerkbar machen, dagegen bei geringem Abstände die gegenseitige Einwirkung der Scheiben auf einander; und diese letztere äußert sich in der Weise, daß durch sie die zwischen den Scheiben enthaltene Luft einer Scheibe einen Theil der Geschwindigkeit wieder mittheilt, den sie einer anderen entzog; daher nimmt bei sehr genäherten Scheiben die Bewegung des Apparats langsamer ab, und folglich nimmt das logarithmische Detrement mit abnehmendem Abstände der Scheiben ebenfalls ab.

Die Resultate der an dem messingenen Scheiben-Apparat angestellten Beobachtungen sind in folgender Tabelle enthalten.

1862.	<i>h</i>	<i>e</i>	<i>T</i>	<i>α</i>	<i>B</i>
Dec. 11.	48	0,00448	14",28	21°,6	751,0
	45	312	20	21,9	750,7
	40	331	22	22,2	750,6
" 12	40	328	21	22,6	751,7
	35	306	23	23,0	758,4
	30	301	23	22,3	754,0
" 13	30	298	21	20,2	756,5
	25	285	19	21,6	753,5
" 14	25	307	19	20,5	758,3
	20	271	19	22,3	759,2
	15	216	19	23,5	760,0
" 15	15	220	18	21,7	763,0
	10	185	18	22,6	763,1
	5	155	18	23,3	763,2
	2	167	14	28,4	763,3
" 16	2	161	13	21,5	763,7
" 18	0	155	19	21,6	755,5
	00	141	22	22,4	755,4

In der ersten Columne dieser Tabelle ist der Tag der Beobachtung angegeben; die zweite mit h überschriebene enthält den Abstand der äusseren Scheiben von der mittleren in Millimetern; die in derselben vorkommende Zahl 00 soll bedeuten, daß die zwischen den auf einander gedrückten Scheiben enthaltene Luft durch einige Tropfen dazwischen gebrachten Oels verdrängt worden war, während eine einfache 0 andeutet, daß die Scheiben ohne Oel aufeinandergedrückt waren. Die dritte Columne enthält das logarithmische Decrement ϵ der Amplituden in natürlichen Logarithmen, die vierte die gleichzeitig beobachtete Schwingungszeit T des Apparats. Beide Grössen sind durch je 8 Beobachtungen bestimmt, welche einen Zeitraum von 98 Schwingungen oder etwa 25 Minuten umfassen; die Werthe der Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Amplituden reducirt, da diese Correction, deren Werth etwa 0",004 betragen würde, unnöthig erschien. In der fünften Columne ist dann unter α die Angabe des in dem Teller der Glocke angebrachten Thermometers in Graden der hunderttheiligen Scale aufgeführt; und endlich enthält die sechste Columne den abgelesenen Barometerstand, welcher nicht auf 0° reducirt worden ist.

Die unter einander gestellten Werthe des logarithmischen Decrements ϵ zeigen im Großen und Ganzen das vorausgesehene Verhalten in ihrem Abnehmen mit den kleiner werdenden Werthen der Distanz h . Denn z. B. ist der Unterschied zwischen den beiden Werthen von ϵ , welche den Werthen 20 und 40 von h entsprechen, beträchtlich geringer, als die den Werthen $h=0$ und $h=20$ oder den Werthen $h=40$ und $h=48$ entsprechenden Differenzen. Man kann also schliessen, daß der Einfluß der Wandungen auf die Scheiben, wenn diese sich in Entfernungen von etwa 30 oder 35 Millimeter von einander befinden, jedenfalls nicht bedeutend ist.

Indefs scheint dieser Einfluß doch nicht verschwindend klein zu seyn, obwohl ihn manchmal zufällige Schwankungen in den beobachteten Werthen der logarithmischen De-

cremente verdecken. Ich unternahm, um dies aufzuklären, eine zweite kleinere Reihe von Beobachtungen, bei deren jeder ich eine grössere Genauigkeit dadurch zu erreichen suchte, daß ich die 8 Messungen über einen Zeitraum von 350 Schwingungen ausdehnte. Die folgende kleine Tabelle enthält die Resultate dieser Beobachtungen.

1863.	Oct. 24.	Oct. 25.	Oct. 25.
h	25 ^{mm}	30	35
ε	0,00301	0,00322	0,00330
T	14",191	14,222	14,177
α	18°,4 C.	18,4	18,7
β	18°,7 C.	19,2	18,9
γ	17°,8 C.	18,2	18,1
B	754 ^{mm} ,5	755,0	754,7

In dieser Tabelle haben die Zeichen dieselbe Bedeutung, wie in der ersten; es sind nur noch die Ablesungen der Thermometer β und γ ausserhalb des Apparates (Fig. 2 Taf. II) hinzugefügt worden. Die Werthe der Schwingungszeiten sind auf unendlich kleine Bögen reducirt. Die Ablesungen des Barometers sind nicht wegen der Temperatur desselben, welche gleich der des Thermometers β anzunehmen ist, corrigirt. Die bei den Versuchen in der Glocke enthaltene Luft war vorher durch die mit Chlorcalcium gefüllten Röhren C Fig. 2 geleitet und so getrocknet worden.

Die angegebenen Zahlenwerthe des logarithmischen Decrements ε zeigen deutlich, daß sie mit steigendem Werthe der Entfernung h der Scheiben ebenfalls zunehmen. Doch ist die Zunahme zwischen den Werthen von $h = 30$ und 35 Millimeter sehr gering, sie beträgt nur den 40. Theil des ganzen Werthes des Decrements. Der Einfluß des Bodens und des Deckels der Glocke auf die Schwingungen des Apparats wird also auch nicht grösser seyn, als daß er das logarithmische Decrement um etwa seinen 40. Theil vermehren kann, wenn die Scheiben in einer Entfernung von 30 bis 35 Millimeter von einander abstehen, so daß die obere vom Deckel der Glocke etwa 20 Milli-

meter entfernt ist. Da nun bei Messungen dieser Art eine Genauigkeit, welche die beobachtete Gröfse bis auf den 40. Theil ihres Werthes verbürgt, kaum zu erreichen ist, so habe ich ohne Bedenken geglaubt, diesen geringen Einfluß der Wände ganz vernachlässigen zu dürfen.

Aehnlich wie in diesen Versuchen den Einfluß des Deckels und Bodens der Glocke, habe ich auch versucht, den der cylindrischen Wand derselben durch Beobachtungen zu schätzen. Ich habe zu dem Ende die Glocke unter dem Teller seitlich, soweit es sich thun liefs, verschoben und den Einfluß dieser Verschiebung auf das logarithmische Decrement bestimmt. Zu diesen Versuchen diente ebenfalls der Apparat mit messingenen Scheiben, und diese befanden sich in einer Entfernung von 30 Millimeter von einander. Es wurde beobachtet am 22. Febr. 1863:

Verschiebung der Glocke	0	3 ^{mm}	6 ^{mm}
Logar. Decrement	0,00294	0,00297	0,00298
Schwingungszeit	14",213	14,210	14,211
Temperatur	21°,1 C.	21,3	21,1
Barometer (nicht reduc.)	754,1	754,3	754,8

Die Veränderung des logarithmischen Decrements ist also sehr unbedeutend. Doch ist zu beachten, daß sie nicht den ganzen Einfluß der Wandung repräsentirt, weil die Glocke auf der einen Seite sich um ebenso viel von den Scheiben entfernt, wie sie denselben auf der andern genähert wird. Jedenfalls aber ist auch dieser Einfluß nicht bedeutend.

Ueberhaupt geht aus den mitgetheilten Versuchen hervor, daß die Dimensionen der Glasglocke nicht ganz ausreichend sind, um den Einfluß der Wandungen auf die Schwingungen des Apparats verschwindend klein zu machen. Dennoch aber glaube ich die Gröfse der Glocke für richtig gewählt halten zu dürfen; denn, wäre sie gröfser gewesen, so würde auch mehr zu fürchten gewesen seyn, daß in ihrem Innern durch Ungleichheit der Temperatur Luftströmungen entstehen könnten, welche die Bewegung des Apparats noch mehr gestört haben würden, und

zwar in einer Weise, welche sich nicht *a priori* übersehen läßt. Von dem Einflusse der Wandungen aber kann nur die Wirkung entstehen, daß die Bestimmung der Luftreibung etwas zu groß ausfällt, so daß meine Beobachtungen wenigstens eine obere Gränze der gesuchten Größe liefern, die ihr Werth nicht übersteigen kann.

Wenn nun nach den oben mitgetheilten Zahlen die Reibung der Luft auf weitere Strecken eine zwar nicht bedeutende, aber doch merkliche Wirkung überträgt, so ist nach denselben Zahlen auch dann ihr Effect nicht unerheblich, wenn die Luft in engen Zwischenräumen eines Körpers von demselben mitgeführt wird. Diefs zeigen die letzten Zahlen der größeren Beobachtungsreihe über die Abhängigkeit des logarithmischen Decrements von dem gegenseitigen Abstände der Scheiben. Inshesondere sind die beiden letzten von Interesse. Waren die Scheiben einfach auf einander gedrückt, so wurde das Decrement 0,00155 beobachtet; als aber zwischen die zusammengepressten Scheiben Oel gebracht worden war, sank das Decrement auf 0,00141. Man könnte den Grund dieser Erniedrigung darin suchen, daß durch das zwiseengebrachte Oel die Masse, also auch die Trägheit des Apparats vermehrt worden ist. Wenn indess diels der wirkliche Grund wäre, so müßte gleichzeitig eine Vergrößerung der Schwingungsdauer in fast demselben Verhältnisse beobachtet worden seyn. Dieselbe beträgt aber nur 0,03 Secunden, ist also nur ein sehr kleiner Bruchtheil der beobachteten Werthe der Schwingungszeiten von 14,19 und 14,22 Secunden. Demnach kann der Grund der viel beträchtlicheren Aenderung des logarithmischen Decrements durch das zwischen die Scheiben gebrachte Oel nicht in einer Vermehrung des Trägheitsmoments des Apparats gesucht werden, sondern nur darin, daß durch das Oel die Bewegung und damit auch die Reibung der Luft in den engen Zwischenräumen zwischen den Scheiben aufgehoben wird.

Aus diesem Grunde habe ich es für nöthig gehalten, bei allen Beobachtungen, die ich mit vereinigten Scheiben

angestellt habe, zwischen die Scheiben Oel zu bringen, um die Reibung der Luft an den inneren Flächen der Scheiben völlig zu beseitigen. Durch dieses Mittel wird nun freilich statt der Reibung der Luft diejenige des Oels wieder eingeführt, also eines Mediums, das eine sehr große innere Reibung besitzt¹⁾. Aber gerade diese Eigenschaft macht das Oel zu dem gewünschten Zwecke besonders tauglich; denn große innere Reibung eines Mediums ist nur ein theoretischer Ausdruck für die Thatsache, daß in einem solchen nur geringe relative Verschiebungen benachbarter Theile möglich sind. Diese Eigenschaft aber wird gewünscht. Das beste Bindemittel zwischen den Flächen der Scheiben wäre ein Körper, dessen Theile sich nicht verschieben, d. h. eines festen Körpers oder eines solchen, der in diesem Sinne eine unendliche innere Reibung besitzt.

Nach den ausgeführten Erörterungen besitzen wir in der ersten Beobachtungsreihe über die Abhängigkeit des logarithmischen Decrements von dem Abstände der Scheiben bereits ausreichende Mittel, die Reibungsconstante der Luft mit genügender Genauigkeit zu berechnen. Es ist nur nöthig, in die im §. 3 entwickelte Formel (402)

$$\lambda = \epsilon' - \epsilon = \pi \frac{R^4}{M} \sqrt{\frac{\pi}{2} \eta \rho T}$$

aus der Tabelle, welche die Beobachtungen enthält, die Werthe der Decremente s und ϵ' einzuführen. Für die erstere dieser Größen ist nach der letzten Bemerkung der Werth

$$s = 0,00141$$

anzunehmen, welcher beobachtet wurde, als die Scheiben mit Oel vereinigt waren. Dagegen stellt ϵ' nach den Voraussetzungen der Theorie den Werth dar, welcher sowohl von dem Einflusse der Scheiben auf einander, als auch von dem der umgebenden Wände auf den Apparat möglichst frei ist. Nach dem obigen genügen dieser Anforderung am besten Werthe, welche bei einem gegenseitigen Abstände der Scheiben von 30 bis 35 Millimeter gewonnen worden

1) Pogg. Ann. Bd. 113 S. 410.

sind. Ich nehme demnach das Mittel aus den drei bei diesem Abstände erhaltenen Bestimmungen 0,00306, 0,00301, 0,00298 und setze

$$\varepsilon' = 0,00302,$$

also

$$\lambda = 0,00161.$$

Diesen Werth führe ich in die Formel ein, setze in derselben ferner, wie es sich gehört, R gleich dem Radius der kleinsten, der mittleren Scheibe

$$R = 99,88 \text{ Millimeter}$$

und

$$M = 55500$$

bezogen auf Gramm und Centimeter, endlich

$$T = 14'',22.$$

Dann wird, ebenfalls auf Gramm und Centimeter als Einheiten bezogen,

$$\sqrt{\eta\rho} = 0,000605,$$

entsprechend einer Temperatur von etwa 22° C.

Nehme ich die Dichtigkeit der Luft bei 0° gleich dem 770. Theile von der des Wassers, ferner den Ausdehnungscoëfficienten derselben $= 0,003665$, so erhalte ich aus dieser Zahl für 22° C.

$$\sqrt{\eta} = 0,0175.$$

$$\eta = 0,000305,$$

welche beide Zahlen auf die Dichtigkeit des Wassers und auf Centimeter als Einheiten bezogen sind.

Dieser Werth der Reibungsconstante der Luft stimmt recht genau mit dem aus Bessel's Correction hergeleiteten Werthe

$$\sqrt{\eta} = 0,0166$$

überein, dagegen keineswegs mit dem von Stokes aus Baily's Versuchen hergeleiteten

$$\sqrt{\eta} = 0,0102,$$

der nach einer anderen Methode bestimmt worden ist.

Eine derselben vollkommen analoge Methode läßt sich auf eine oben mitgetheilte Beobachtung anwenden. Bei Gelegenheit der Bestimmung des Trägheitsmoments des Messingscheiben-Apparats ist das logarithmische Decrement der Amplituden desselben im luftverdünnten Raume und

in der Luft beobachtet worden. Aus den mitgetheilten Zahlen (S. 414—5) stelle ich folgende noch einmal zusammen.

Mittlere Temperatur	18°,7 C.	14°,9 C.	
Schwingungszeit im Mittel	14",181	14",222	
Log. Decr. {	im luftl. Raume	0,00144	0,00140
	in der Luft	0,00302	0,00301

Wenn man, wie es Stokes gethan hat, berechtigt ist, die Reibung der verdünnten Luft als verschwindend klein zu vernachlässigen, so ist es auch gestattet, die Reibungsconstante der Luft nach der Formel

$$\epsilon' - \epsilon'_0 = 3 \frac{\pi R^4}{2M} \sqrt{\frac{\pi}{2} \eta \rho T}$$

zu berechnen, in der ϵ'_0 das logarithmische Decrement des mit drei getrennten Scheiben in dem als luftleer angesehenen Raume schwingenden Apparates bezeichnet, ϵ' dieselbe GröÙe für Schwingungen in der Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit ρ . Zu dieser Formel ist der Factor $\frac{2}{3}$ hinzutreten, weil es sich nach dieser Methode um die Reibung an allen 6 Flächen der Scheiben handelt, nicht bloß um die an den vier inneren, welche nach der ersten Methode bei einem der beiden Versuche verdeckt werden.

Vergleicht man nun die numerischen Werthe von ϵ' und ϵ'_0 mit den von ϵ' und ϵ , welche ich soeben zur Berechnung der Reibung verwandt habe, so sieht man schon ohne Rechnung ein, daß die neue Art der Bestimmung zu einem ganz abweichenden Resultate führen muß. Denn die Werthe von ϵ und ϵ'_0 sind einander genau gleich, ebenso stimmen die von ϵ' gut mit einander überein, die Formeln aber, welche in beiden Fällen anzuwenden sind, unterscheiden sich um den Factor $\frac{2}{3}$. Daraus folgt, daß die neue Berechnung für die Quadratwurzel des Reibungscoefficienten einen Werth liefern muß, der nur $\frac{2}{3}$ des früheren beträgt. Man erhält also etwa

$$\sqrt{\eta} = 0,0117,$$

wenn man durch dieses dem Stokes'schen analoge Verfahren die Bestimmung ausführt.

Vergleicht man das erhaltene Resultat mit dem von Stokes selber angegebenen

$$\sqrt{\eta} = 0,0102,$$

so zeigt sich im Gegensatze zu den soeben angegebenen Zahlen eine merkwürdige Uebereinstimmung.

Somit hat sich ergeben, daß meine Beobachtungen durch die beiden Methoden der Berechnung zu verschiedenen Resultaten führen, welche entweder mit den aus Bessel's oder mit den aus Baily's Versuchen hergeleiteten Folgerungen übereinstimmen, je nachdem das der Rechnung zu Grunde gelegte Princip dem von dem einen oder von dem anderen dieser beiden ausgezeichneten Beobachter angenommenen analog ist. Da alle im folgenden mitgetheilten Beobachtungen dies übereinstimmend bestätigen, so kann die Ursache der bemerkten Abweichung nicht in zufälligen Beobachtungsfehlern liegen; und es kann kaum ein Zweifel bestehen, daß auch die von Stokes gefundene Abweichung zwischen den Resultaten der Messungen Baily's und Bessel's nicht in den Fehlern oder in etwaigen Störungen der Beobachtungen, sondern lediglich in der Interpretation derselben ihren Grund findet.

Es wirft sich also die Frage auf, welches der beiden Principien der Beobachtung dem anderen vorzuziehen ist. Diese Frage läßt sich nach den bisher mitgetheilten Erfahrungen noch nicht entscheidend beantworten; sie wird aber, wie ich hoffe, durch die Versuche, welche im folgenden Paragraphen angegeben werden, unzweifelhaft entschieden werden.

Ich weiß nur gegen die eine der beiden Methoden einen erheblichen Einwand geltend zu machen, nämlich gegen diejenige, nach welcher zwei Beobachtungen combinirt werden, von denen die eine in der Luft, die andere im möglichst luftleeren Raume ausgeführt worden ist. Da sich kein absolut luftleerer, sondern nur ein luftverdünnter Raum herstellen läßt, so wird von der verdünnten Luft immerhin noch einige Reibung erzeugt werden. Vernach-

lässt man diese, so ist die Folge, daß die Bestimmung des Reibungscoefficienten zu klein ausfällt.

In der That sind die nach dieser Methode erhaltenen Werthe kleiner als die auf die andere Weise bestimmten; sie sind aber so beträchtlich kleiner, daß eine Erklärung aus diesem Einwande Bedenken erregen muß. Aus der Gleichheit der oben angegebenen Zahlenwerthe der logarithmischen Decremente (ϵ und ϵ_0) wird man nämlich nach dieser Erklärung auf einen so großen Werth der Reibung verdünnter Luft schließen müssen, daß ein Apparat mit drei Scheiben im luftverdünnten Raume etwa dieselbe Verzögerung durch Reibung erfährt, wie ein gleich schwerer und gleich träger mit einer Scheibe in Luft vom gewöhnlichem Drucke der Atmosphäre.

So unwahrscheinlich diese Annahme klingen mag, so wird ihre Richtigkeit dennoch durch Versuche unzweifelhaft nachgewiesen, welche weiter unten mitgetheilt werden sollen. Beobachtet man nämlich im möglichst luftleer gepumpten Raume das logarithmische Decrement des Scheibenapparats, einmal mit getrennten und das andere Mal mit vereinigten Scheiben, so findet man eine sehr merkliche Differenz beider Größen, durch welche deren Verhältniß etwa auf das von 2 zu 3 gebracht wird. Ich weiß für diese Abweichung keine andere Erklärung aufzustellen, als daß ich wirklich annehme, *daß auch in möglichst verdünnter Luft noch merkliche innere Reibung stattfindet.*

Das Auffallende, das diese Annahme enthalten kann, verschwindet, wenn man beachtet, daß die Beobachtung sich nur auf Schwingungen in einem eng begränzten Raume erstreckt, und daß sie nur den Sinn hat, daß in verdünnter Luft der Einfluss der Wandungen sehr viel bedeutender ist als in dichter Luft. Dies aber ist eine nothwendige Folge der früher entwickelten mathematischen Theorie dieser Versuche.

Ich bin nicht zweifelhaft, in diesem Sinne die obige Annahme für richtig zu halten. Demgemäß gebe ich von

den beiden Methoden zur Bestimmung der Reibung derjenigen, nach welcher zwei Beobachtungen bei getrennten und bei vereinigten Scheiben anzustellen sind, den Vorzug vor der anderen, nach welcher eine Beobachtung in der Luft mit einer im luftleeren Raume angestellten zu combiniren ist. Für den richtigen Werth des Reibungscoëfficienten der Luft halte ich daher in Uebereinstimmung mit der Beobachtung Bessel's denjenigen, dessen Quadratwurzel

$$\sqrt{\eta} = 0,017$$

in Centimetern ist.

Baily's Bestimmungen der Pendelcorrection dagegen, aus welchen sich viel kleinere Werthe der Reibung ergeben, sowie die von Sabine ausgeführten, halte ich für ungenau und zwar sämmtlich für beträchtlich zu klein. Nur Bessel's eigene Bestimmung verdient Vertrauen.

Ich bin jedoch weit entfernt, durch diese Behauptung die außerordentliche Sorgfalt und die bedeutende Geschicklichkeit jener beiden Beobachter in Zweifel ziehen zu wollen; nur ihre Methode leidet an einem Fehler, den man *a priori* nicht erwarten konnte. Die ausgezeichnete Genauigkeit der Messungen ergiebt sich vielmehr aus der glänzenden Uebereinstimmung, die Baily's Resultate mit der von Stokes entwickelten Theorie zeigen. Diese Uebereinstimmung beweist aber nicht die Richtigkeit des aus den Beobachtungen berechneten Werthes des Reibungscoëfficienten der Luft, sondern sie ist nur eine Folge davon, daß die Pendel alle mit gleicher Schwingungsdauer in demselben Vacuum-Apparate und in gleich verdünnter Luft ihre Schwingungen ausführten.

Einige weitere Anhaltspunkte zur Beurtheilung und Prüfung der Methode werden die im folgenden §. enthaltenen Beobachtungen abgeben.

§. 6.

**Beobachtungen zur Bestimmung der Reibung trockner
Luft als Function ihres Druckes.**

Erste Beobachtungsreihe; messingener Apparat.

1863. Februar 23. Scheiben in 30^{mm} Abstand.

p	α	γ	ε'	T
751,4	20,9	19,3	0,002967	14,205
497,3	21,4	20,2	2450	207
246,8	21,8	20,2	1838	202
11,6	21,6	19,9	1560	199

Februar 24. Scheiben mit Oel auf einander.

p	α	γ	ε'	T
8,0	21,8	20,5	0,000997	14,194
251,1	23,0	21,2	1109	196
500,6	23,2	20,9	1238	195
757,5	23,3	21,1	1368	191

Februar 25. Scheiben in 30^{mm} Abstand.

p	α	γ	ε'	T
7,1	23,4	20,1	0,001555	14,197
251,4	23,0	20,3	1928	196
498,3	22,4	20,5	2480	194
758,0	23,0	21,5	3050	193

In dieser Tabelle enthält die erste Columnne den Druck p in Millimeter Quecksilber von 0°, unter welchem die dem Versuche unterworfenen Luft sich befand. Dieselbe war beim Einströmen in den Apparat getrocknet worden. Der Druck ist hergeleitet aus den Mittelwerthen der zu Anfang und zu Ende eines jeden Versuchs vorgenommenen und auf 0° reducirten Ablesungen des am Apparate angebrachten Manometers und des neben demselben aufgehängten Barometers.

Die zweite und dritte Reihe der Tabelle enthalten in Centesimalgraden die Angaben der beiden Thermometer α und γ , von denen das erstere im Deckel der Glocke, das zweite am Fusse derselben befestigt war, und zwar sind die aufgeführten Zahlen ebenfalls Mittelwerthe aus den zu Anfang und am Ende jedes Versuches gemachten Ablesun-

gen. Die Temperatur der untersuchten Luft α erscheint durchgängig höher als die der Umgebung γ ; dies Verhalten beider Thermometer habe ich constant beobachtet, wenn das Zimmer geheizt war; es hat seinen Grund in der verschiedenen Höhe über dem Fußboden.

Die Columnen ε und ε' enthalten die logarithmischen Decremente, bezogen auf natürliche Logarithmen, T die Schwingungsdauer des Apparats in Secunden. Beide Bestimmungen beruhen auf je 8 wiederholten Messungen in einem Intervalle von 98 Schwingungen. Die Werthe der Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Amplituden reducirt, daher durchschnittlich um etwa 0",003 zu groß angegeben.

Indem ich die Werthe von ε' durch lineare Interpolation zwischen beiden Beobachtungsreihen auf denselben Druck reducire, der bei der entsprechenden Bestimmung von ε stattfand, und dann ε subtrahire, erhalte ich aus obiger Tabelle:

Temp. α	Druck p	Log. Dec. $\lambda = \varepsilon' - \varepsilon$	Schwingungszeit T
22°,4 C.	757,5	0,001676	14",196
22 ,3	500,6	1311	199
22 ,6	251,1	0813	198
22 ,25	8,0	0559	197

Aus diesen Werthen von λ ist nach einer oben aufgestellten Formel die GröÙe $\sqrt{\eta\rho}$ herzuleiten, ferner aus p die Dichtigkeit ρ und daraus endlich die Reibungsconstante η .

Setze ich dabei die Dichtigkeit der Luft bei 0° und bei 760^{mm} Barometerstand = $\frac{1}{773}$, den Ausdehnungscoefficienten derselben = 0,003665, so erhalte ich aus den ersten drei Messungen folgende Resultate.

Temp. α	Druck p	$\sqrt{\eta\rho}$	$\sqrt{\eta}$	Reibungsconst. η
22°,4 C.	757,5	0,000631	0,0182	0,000332
22 ,3	500,6	493	175	307
22 ,6	251,1	306	154	236

Zwischen dem Drucke und der Reibung der Luft er-
giebt sich also die Beziehung, daß, wenn der Druck von
einer auf $\frac{1}{3}$ Atmosphäre sinkt, die Quadratwurzel aus dem
Reibungscoefficienten nur um etwa ihren sechsten Theil,
der Reibungscoefficient selbst um den dritten bis vierten
Theil seines Werthes abnimmt. Wir erhalten also nicht
vollkommen genau das von Maxwell aus theoretischen
Betrachtungen hergeleitete Gesetz, nach welchem die Rei-
bungsconstante eines Gases von der Dichtigkeit desselben
unabhängig seyn soll. Doch zeigt die Beobachtung, daß
dieses theoretische Gesetz immerhin als eine Annäherung
an die Wirklichkeit angesehen werden darf, da sich die
Reibung der Luft in viel geringerem Maasse ändert als die
Dichtigkeit derselben.

Zudem ist zu beachten, daß das Maxwell'sche Gesetz
selbstverständlich nur innerhalb enger Grenzen gelten kann,
weil es sonst verlangen würde, daß ein Gas von der Dich-
tigkeit 0 eine ebenso große Reibung besitzen müsse wie
unter normalem Drucke, oder daß ein gar nicht vorhande-
nes dieselbe Reibung ausüben würde wie ein wirklich exi-
stirendes. Eine beschränkte Gültigkeit des Gesetzes ist
durch die angegebenen Beobachtungsergebnisse nicht ausge-
schlossen, vielmehr wahrscheinlich gemacht.

Während sich die besprochenen drei Beobachtungen
unter einander und mit der Theorie in genügender Ueber-
einstimmung befinden, macht die Erklärung der vierten, bei
8^{mm} Druck angestellten Beobachtung nicht unerhebliche
Schwierigkeiten. Bei diesem geringen Drucke ist die Diffe-
renz 0,000559 der logarithmischen Decremente beobachtet,
welche kaum kleiner ist als die bei dem mehr als 30 mal
größeren Drucke von 251,1 Millimeter gefundene 0,000813.
Hieraus schon ergibt sich, daß dieselbe Methode zur Be-
rechnung der Reibungsconstante bei diesem geringen Drucke
nicht zu einem glaubwürdigen Resultate führen kann.

Die Größe der beobachteten Differenz beweist, daß in
sehr verdünnter Luft der Vorgang wesentlich anders ist als
in dichter Luft. Man kann an zweierlei Ursachen einer

solchen Aenderung denken. Zunächst kann der Grund in einem vermehrten Einflusse der Wandungen auf die Schwingungen des Apparats bestehen; und ein solcher muß eintreten, da sich, wenn die Reibungsconstanten sich weniger rasch ändert als die Dichtigkeit, die Bewegung in dünner Luft weiter ausbreiten muß als in dichter. Ich halte diesen Grund für den wahrscheinlichsten, will aber nicht verschweigen, daß auch noch ein anderer möglich scheint, der mit der theoretischen Vorstellung Maxwell's über die Natur der Reibung zusammenhängt und deshalb bei der Besprechung derselben im letzten §. dieser Abhandlung erwähnt werden soll. (S. 595.)

Wegen dieser Unsicherheit der Erklärung unterlasse ich, aus jener vierten Beobachtung einen Schluß auf die Größe der Luftreibung bei sehr geringem Drucke zu ziehen. Ich beschränke mich darauf, die Bedeutung des Versuches für die Beurtheilung der Beobachtungsmethode von Sabine und Baily, von der im vorigen §. die Rede war, hervorzuheben und daran zu erinnern, daß die jetzt mitgetheilte Erfahrung mit zur Entscheidung über den Werth jener Methode herangezogen wurde¹⁾. (s. S. 575.)

Zweite Beobachtungsreihe; messingener Apparat.

1863.	h	p	α	β	γ	ϵ	T
April 4	30	4,1	20,0	20,6	19,0	0,001500	14,178
	0	4,9	21,4	21,7	19,9	0963	180
" 5	0	71,2	21,6	22,7	20,9	1014	181

- 1) Wenn es erlaubt ist, von einem Cabinets-Versuch auf die Vorgänge in der Erdatmosphäre zu schließen, und das bei geringen Geschwindigkeiten beobachtete Verhalten auch bei rascher Bewegung vorauszusetzen, so haben die Erfahrungen über die unbedeutende Verringerung der Reibung mit abnehmendem Drucke der Luft einige Bedeutung für die meteorologischen Erscheinungen in den oberen Schichten der Atmosphäre. Namentlich sind hier die Sternschnuppen, welche häufig in einer Höhe erscheinen, welche höher als die gewöhnlich angenommene Gränze der Atmosphäre ist, zu erwähnen und die Hypothese, welche Joule über diese Körper aufgestellt hat. (*Phil. mag. 3. ser., Vol. 32, p. 349, 1848*).

1863.	h	p	α	β	γ	ε	T
	30	71,2	22,0	22,0	20,3	0,001593	14,181
April 6	30	240,1	19,6	20,9	19,7	1901	180
	0	239,3	22,3	21,8	20,4	1161	185
" 10	0	497,1	20,1	21,2	19,8	1216	186
	30	492,8	21,7	21,0	18,9	2584	210
" 11	30	747,3	22,1	22,5	21,1	3102	210
	0	747,0	22,5	22,6	20,5	1483	192

In dieser Tabelle bezeichnet h den Abstand der Scheiben von einander in Millimetern; bei den Beobachtungen, für welche derselbe $= 0$ angegeben ist, befand sich Oel zwischen den Scheiben. Die zweite Columnne enthält den Druck p der untersuchten Luft, ausgedrückt durch die Höhe einer Quecksilbersäule von 0° in Millimetern; α , β , γ sind die mittleren Stände dreier Thermometer im Apparate, über demselben und an seinem Fusse in Graden der hunderttheiligen Scale. Die in den letzten Columnnen enthaltenen Werthe des logarithmischen Decrements ε und der Schwingungsdauer T sind durch je 12 Beobachtungen innerhalb eines Intervalls von 462 Schwingungen bestimmt und nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden; ε bezieht sich auf natürliche Logarithmen; T ist in Secunden angegeben und auf unendlich kleine Schwingungen reducirt.

i Die Beobachtungen sind mit denen der ersten Reihe in erfreulicher Uebereinstimmung. Ich verwende sie in derselben Weise wie jene zur Berechnung der Reibung und verzichte aus denselben Gründen wie dort auf die Berechnung der zwei ersten Beobachtungen. Es ergiebt sich:

Temp.	Druck	$\sqrt{\eta \varrho}$	$\sqrt{\eta}$	η
22°,3 C.	747,2	0,000609	0,0177	0,000313
20,9	494,9	515	183	336
21,0	239,7	279	143	204

Vergleicht man diese Resultate mit den oben angegebenen, so stellt sich der Unterschied heraus, daß in der neuen Reihe die Reibung der Luft von $\frac{2}{3}$ Atmosphärendruck größer erscheint als bei vollem Atmosphärendrucke, während

nach der früheren Reihe die Luft von gröfserer Dichtigkeit auch gröfsere Reibung besitzen sollte. Die Aenderung der Reibung zwischen den Druckgränzen von 1 und $\frac{1}{2}$ Atmosphären verschwindet also schon gegen die Fehler meiner Beobachtungen.

Dritte Beobachtungsreihe; gläserner Apparat.

1863.	h	p	α	β	γ	ϵ	T
Dec. 24	35	747,7	16,2	18,4	16,6	0,00781	8,906
	0	750,5	19,0	19,7	17,9	439	8,891
» 28	35	501,1	18,9	20,3	18,6	713	8,885
	0	498,3	20,3	20,9	19,0	390	8,895
» 29	0	253,0	19,5	20,6	18,9	357	8,894
	35	247,9	20,7	21,5	19,6	565	8,900
» 30	35	1,4	21,3	22,1	20,1	376	8,893
	0	22,2	21,9	22,2	20,2	303	8,897

In dieser neuen Reihe correspondiren sich immer gegenseitig zwei Beobachtungen, von denen die eine bei vereinigten Scheiben mit zwischengebrachter Oelschicht, die andere bei einem gegenseitigen Abstände derselben von 35 Millimeter angestellt worden sind. Die gröfsere Entfernung wurde statt der von 30 Millimeter bei dem Messingapparate gewählt, weil die Wölbung der Glocke eine gröfsere Annäherung der kleineren Glasscheiben zu gestatten schien.

Die Werthe der logarithmischen Decremente und Schwingungsdauern sind aus je 8 Beobachtungen, welche auf eine Reihe von 350 Schwingungen vertheilt sind, nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden. Die Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Amplituden reducirt worden, daher durchschnittlich um 0,001 zu groß.

Aus diesen Beobachtungen habe ich, wie aus den mit dem gröfseren Apparate angestellten, die Reibungsconstante der Luft berechnet. Dabei habe ich nach früheren Angaben das Trägheitsmoment (S. 417)

$$M = 6580$$

gesetzt, ferner den Radius der Scheiben (S. 409)

$$R = 7,5657 \text{ Centimeter}$$

angenommen, weil dies der Werth für die kleinste, die mittlere der drei Scheiben, ist, und endlich habe ich im Mittel die Schwingungsdauer

$$T = 8",895$$

angenommen. So hat sich ergeben

Temp.	Druck	$\sqrt{\eta\rho}$	$\sqrt{\eta}$	η
21,6	749,1	0,000585	0,0170	0,000288
20,1	499,7	553	196	365
19,6	250,5	357	178	318

Nach diesen Zahlen scheint die Constanz des Reibungscoëfficienten mit veränderlichem Drucke noch weiter zu gehen als nach den früheren, die mit dem anderen Apparat angestellt sind. Welchen mehr Vertrauen beizumessen ist, wage ich nicht zu entscheiden. Ich lasse daher die Frage nach den Grenzen der Gültigkeit und nach dem Grade der Annäherung des Maxwell'schen Gesetzes an die Wirklichkeit dahingestellt seyn und beschränke mich auf den Schluss, den alle Beobachtungen übereinstimmend rechtfertigen, *dass der Reibungscoëfficient der Luft mit abnehmender Dichtigkeit sich weit langsamer ändert, als diese* ¹⁾.

- 1) Zu demselben Schlusse berechtigt eine vor mehr als hundert Jahren gemachte Beobachtung Bouguer's. Bei den Pendelmessungen, die er mit Condamine in Südamerika ausführte, bemerkte er, dass die Schwingungen des Pendels auf hohen Bergen langsamer abnehmen als an niedrigen Orten. Er giebt an, (*la figure de la terre*, Paris 1749, p. 332), dass sein Pendel die Hälfte seiner Amplitude auf dem 2434 Toisen hohen Pichincha in 22 bis 23 Minuten einbüßte, am Meeresufer dagegen schon in 14 bis 15 Minuten. Die Schwingungen nahmen, wie er ausdrücklich erwähnt, merklich in geometrischer Progression ab. Der von ihm ebenfalls beobachtete Barometerstand beträgt am Ufer der See 28" 1", auf dem Pichincha 15" 9". (S. XXXIX.)

Den angegebenen Zeiten sind die logarithmischen Decremente der Amplituden umgekehrt proportional, und diese sind nach der Theorie dem geometrischen Mittel aus der Dichtigkeit und dem Reibungscoëfficienten der Luft proportional, wenn es erlaubt ist, den Widerstand des Pendelfadens zu vernachlässigen. Unter dieser Voraussetzung lässt sich also aus Bouguer's Beobachtung das Verhältniß der Reibungsconstante der dünnen Luft auf dem Berge zu derjenigen der dichteren an der Küste bestimmen. Man findet dieses Verhältniß 0,66 bis 0,83, während

Demnach ist das Maxwell'sche Gesetz jedenfalls angenähert richtig. Auf eine genauere Untersuchung werde ich in der zweiten Abhandlung eingehen, in der ich die Gesetze der Strömung von Gasen durch Röhren berücksichtigen werde.

Die Beobachtungen erlauben noch eine Folgerung. Die mit Hilfe des kleineren gläsernen Apparates gefundenen Werthe der Reibung stimmen, namentlich die bei Atmosphärendruck gewonnenen, recht gut mit den am größeren Messing-Apparate erhaltenen überein. Daraus folgt als Bestätigung der Theorie sowohl, daß die Differenzen der logarithmischen Decremente der vierten Potenz der Radien der Scheiben proportional sind, als auch, daß die Luft an Glas und Messing annähernd gleich fest haftet.

§. 7.

Beobachtungen zur Bestimmung der Reibung trockner Luft als Function ihrer Temperatur.

Maxwell's Theorie verlangt ferner, daß die Reibungsconstante eines Gases mit der Temperatur ϑ proportional der GröÙe

$$\sqrt{1 + \alpha \vartheta}$$

oder hinlänglich angenähert proportional

$$1 + \frac{1}{2} \alpha \vartheta$$

sich ändere, wo α der Ausdehnungscoefficient des Gases also für Centesimalgrade

$$\alpha = 0,003665$$

ist. Es würde also die Reibungsconstante in geringem Grade mit steigender Temperatur wachsen, bei einer Temperatursteigerung von 10° C. um etwa 2 Proc.

Nun liefert aber die Beobachtung nach der Coulomb'schen Methode nicht direct die Reibungsconstante η , son-

das der Dichtigkeiten der Luft an beiden Orten 0,56 ist. Ersteres ist also merklich größer, und es würde noch größer ausgefallen seyn, wenn es möglich wäre, den Widerstand des Fadens zu berücksichtigen.

dem zunächst das geometrische Mittel aus ihr und der Dichtigkeit der Luft

$$\sqrt{\eta \varrho}.$$

Diese Gröfse ändert sich proportional

$$\sqrt{1 - \frac{1}{4}\alpha\vartheta} \text{ oder } 1 - \frac{1}{4}\alpha\vartheta$$

mit der Temperatur ϑ . In demselben Verhältnisse wie $\sqrt{\eta \varrho}$ wird sich auch die Differenz der logarithmischen Decremente, welche dieser Gröfse proportional ist, ändern, d. h. also dieselbe wird durch eine Temperaturzunahme von ϑ Graden im Verhältniß von

$$1 : 1 - \frac{1}{4}\alpha\vartheta$$

abnehmen, also durch eine Temperaturerhöhung von 10° C. um etwa 1 Proc. Eine so kleine Aenderung entgeht der Beobachtung. Ist also die Maxwell'sche Theorie richtig, so muß die Messung ergeben, daß die Differenz correspondirender Werthe des logarithmischen Decrements bei vereinigten und bei getrennten Scheiben des Apparats nahezu von der Temperatur unabhängig ist.

Um diese Voraussagung zu prüfen, unternahm ich eine Versuchsreihe, zu der der Apparat mit Glasscheiben verwandt wurde. Ich beobachtete einen Tag im Winter im ungeheizten Zimmer, den folgenden bei möglichst gesteigerter Hitze und den dritten bei mäßiger Zimmertemperatur.

1864.	λ	p	α	β	γ	ε	T
Jan. 23	0	745,9	8,0	8,3	7,8	0,00368	8,884
	35	745,4	8,7	8,8	8,4	743	8,896
„ 24	35	750,8	34,2	36,2	32,0	805	8,901
	0	752,2	34,5	34,9	31,2	428	8,910
„ 25	0	756,3	21,4	21,8	20,2	420	8,912
	35	756,9	21,6	21,5	19,9	784	8,911

Jede Beobachtung beruht auf 8 Messungen, welche 350 Schwingungen umfassen. Die Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Bogen reducirt. Alles andere wie oben angegeben.

Hieraus ergeben sich folgende Differenzen λ der loga-

rithmischen Decremente, entsprechend den angegebenen Mittelwerthen von Druck und Temperatur.

Temp.	Druck	λ
8,3	745,7	0,00375
21,5	756,6	364
34,4	751,5	377

Wie man sieht, stimmen die drei Werthe von λ wirklich, wie es die Maxwell'sche Theorie verlangt, innerhalb der Fehlergränzen überein. Demnach ist es sehr wahrscheinlich, daß der Reibungscoëfficient in der That das verlangte Gesetz befolgt. Daß dieß streng der Fall ist, läßt sich leicht aus Graham's Beobachtungen nachweisen, auf die ich in meiner zweiten Abhandlung zurückkommen werde.

Als Werthe der Reibungsconstante habe ich aus diesen drei Beobachtungen berechnet:

Temp.	Druck	$\sqrt{\eta \rho}$	$\sqrt{\eta}$	η
8,3	745,6	0,000642	0,0182	0,000333
21,5	756,6	623	180	323
34,4	751,5	646	191	366

§. 8.

Erklärung der inneren Reibung der Gase und ihrer Gesetze aus der Hypothese der molecularen Stöße.

Das Ergebniß der im Vorstehenden mitgetheilten Experimental-Untersuchung, daß die Reibung der Luft nur in geringem Grade mit dem Drucke und der Temperatur derselben veränderlich ist, stimmt mit den Folgerungen überein, welche Maxwell¹⁾ auf theoretischem Wege aus der Hypothese der geradlinigen Bewegung der Theilchen eines Gases hergeleitet hat. Ich glaube, daß sich die dazu nöthigen Betrachtungen durch Ausschließung unnöthiger Untersuchungen wesentlich vereinfachen lassen. Ich will dieß hier zunächst mit möglichst geringen mathematischen Hilfsmitteln versuchen, indem ich hoffe, bald an einem andern Orte eine strengere mathematische Untersuchung mittheilen zu können.

1) *Phil. mag.* 4th ser. Vol. 19. p. 31. 1860.

Nach der Ansicht, welche ich oben die Hypothese der molecularen Stöße genannt habe, befinden sich die Theilchen eines gasförmigen Mediums in Entfernungen von einander, welche zwar sehr klein, aber bedeutend größer sind als die Radien ihrer Wirkungssphären, d. h. als die Entfernungen, bis zu welchen die zwischen ihnen stattfindende Anziehung merklich ist. Die Molecüle wirken also nach dieser Vorstellung nicht durch Kräfte auf einander. Man schreibt ihnen aber eine sehr rasche geradlinige Bewegung zu, vermöge deren oft zwei derselben zusammenstoßen oder wenigstens in die Wirkungssphären von einander gerathen, so daß dann eine gegenseitige Einwirkung eintritt. Die lebendige Kraft dieser geradlinigen Molecularbewegung wird als Wärme defint; und es wird angenommen, daß, wenn das Gas sich anscheinend in Ruhe befindet, diese Bewegung so stattfindet, daß von jeder Stelle des Gases aus nach allen möglichen Richtungen in gleichen Zeiten die gleiche Anzahl von Molekülen sich bewegt.

Findet sich an einer Stelle des Gases eine größere Bewegung als an anderem, so muß diese durch die Molecularbewegung selbst sich durch den ganzen Raum verbreiten. War die Bewegung an ihrem ursprünglichen Orte so beschaffen, daß sie nach allen Richtungen des Raumes gleich stattfand, so hat man ihr die physikalische Bedeutung eines Temperatur-Ueberschusses dieser Stelle beizulegen, und ihre Verbreitung durch das gasförmige Medium ist dann die Wärmeleitung desselben.

Entsteht aber an einem Orte eines gasförmigen Mediums ein Ueberschuß an Bewegung nach einer bestimmten Richtung, so ist diese Bewegung keine Wärmebewegung, sondern eine fortschreitende Bewegung des an dieser Stelle befindlichen Gases. Durch die überall vorhandene, nach allen Richtungen gleiche Bewegung der Moleküle der gesamten Gasmasse wird jener Ueberschuß an Bewegung ebenfalls durch das ganze Medium verbreitet. Dasselbe geräth also zunächst in eine fortschreitende Bewegung nach derselben Richtung wie die Stelle, an der die erste Erre-

gung stattfand. Bei jedem Zusammenstoß von zwei Molekülen wird aber, außer wenn der Stoß ein centraler ist, die Richtung der Bewegung geändert. Es wird der ursprünglich vorhandene Ueberschuß der Bewegung nach einer bestimmten Richtung durch den wiederholten Zusammenstoß von Molekülen in Bewegungen nach allen Richtungen umgesetzt werden, oder mit anderen Worten, die ursprünglich an einem Orte des gasförmigen Mediums vorhandene fortschreitende Bewegung wird sich, indem sie sich durch das ganze Medium ausbreitet, allmählich in Wärmebewegung umsetzen.

Somit enthält diese Vorstellung eine ungezwungene Erklärung einer doppelten Erscheinung. Zunächst folgt aus ihr die Existenz der inneren Reibung der Gase. Denn mit diesem Namen bezeichnet man die Eigenschaft der tropfbar und elastisch flüssigen Körper, eine Bewegung welche irgendwo in ihrem Inneren erregt wird, an die benachbarten Orte des Mediums zu übertragen. Eine solche Uebertragung von Bewegung von einer Stelle des Mediums an eine andere haben wir soeben als nothwendige Folge der gemachten Annahme erkannt.

Aus dieser Annahme folgt aber zweitens, daß eine an irgend einer Stelle des gasförmigen Mediums erregte fortschreitende Bewegung der dort befindlichen Masse allmählich durch die Molecularstöße in Wärmebewegung umgesetzt werden muß, welche sich durch das ganze Medium ausbreitet. Diefs aber ist nur ein Ausdruck der beobachteten Thatsache, daß durch die innere Reibung die Bewegung allmählich vernichtet und in Wärme umgesetzt wird.

Die Hypothese der tumultuarischen Molecularbewegung liefert so die Erklärung von Thatsachen, über welche die Hypothese der molecularen Anziehung und Abstosung keine Rechenschaft zu geben vermag.

Nach dieser Analyse des Vorgangs besteht die innere Reibung aus zwei verschiedenen zusammen auftretenden Erscheinungen, Uebertragung von Geschwindigkeit von Schicht zu Schicht und Umsetzung der Bewegung in Wärme. Beide

Erscheinungen lassen sich in der Betrachtung von einander sondern, wenn es nur darauf ankommt, entweder zu bestimmen, wie die Bewegung sich über das Gas ausbreitet, oder zu berechnen, wie viel lebendige Kraft in Wärme umgesetzt worden ist. Es kommt hier nur auf die erstgenannte Frage an. Dadurch läßt sich ein Vorthail gewinnen, der die Betrachtung Maxwell's nicht unbeträchtlich vereinfacht:

Um die Reibung zu bestimmen, welche auf einer durch ein Gas gelegten Ebene von der einen Hälfte dieses Mediums auf die andere ausgeübt wird, theilt Maxwell das ganze Medium in Schichten, welche dieser Ebene parallel liegen. Er bestimmt die Anzahl und die Geschwindigkeit der Theilchen, welche vermöge ihrer Molecularbewegung aus einer beliebigen Schicht der einen Hälfte in eine willkürlich angenommene der andern Hälfte gelangen und in dieser mit Theilchen dieser Schicht zusammenstoßen, mit welchen sie ihre Geschwindigkeiten austauschen. So erhält Maxwell die Wirkung einer Schicht der einen Hälfte auf eine Schicht der anderen Hälfte des Mediums, und dieser Ausdruck liefert nach Integration über sämtliche Schichten beider Hälften den totalen Werth der ausgeübten Reibung.

Nun aber ist zur Berechnung der auf der trennenden Ebene ausgeübten Reibung nicht nöthig, die Analyse so weit zu treiben. Es genügt vielmehr die Anzahl und Geschwindigkeit der Theilchen zu berechnen, welche von der einen und der andern Seite her jene Ebene passiren. Der Ueberschufs der durch diese Theilchen von der einen Seite übertragenen Bewegungsquantität über die in der entgegengesetzten Richtung übergeführte ist dann sofort die ausgeübte Reibung. Denn indem ein Theilchen die Gränzebene beider Hälften überschreitet, hört es auf, der ersten Hälfte anzugehören, und beginnt, ein Bestandtheil der zweiten zu werden. Mit ihm geht seine Bewegung von der einen auf die andere Hälfte über. So wird hin und her Bewegung übertragen. Die in der einen Richtung mehr

übergeführte Bewegung ist die durch Reibung übertragene. Die GröÙe dieser Bewegung muß berechnet werden. Was aber nach dem Ueberschreiten jener Ebene aus dieser Bewegung wird, und wo die übergegangenen Theilchen auf andere stoßen, das ist ganz gleichgültig.

Um auf diese Weise die Reibung zu berechnen, mache ich einige vereinfachende Voraussetzungen. Zunächst nehme ich an, daß das Medium durch seine ganze Ausdehnung überall gleiche Dichtigkeit und gleiche Temperatur besitze. Mit der letzteren Annahme setze ich voraus, daß die Geschwindigkeit der molecularen Bewegung an allen Stellen des Gases gleich sey. Außer dieser molecularen Bewegung, welche nach allen Richtungen des Raumes gleich stattfindet und daher nicht als Bewegung sondern nur als Wärme empfunden wird, kann dann noch eine eigentliche eine fortschreitende Bewegung der Schichten des Gases stattfinden. Von dieser setze ich voraus, daß sie überall gleiche Richtung besitze, und daß sie stetig durch den ganzen Raum des Gases vertheilt sey.

Ich fixe ein System rechtwinkliger Coordinaten x, y, z so, daß die zweite Axe y der Richtung der Bewegung des Gases parallel läuft. Die Ebene, auf welche die gesuchte Reibung ausgeübt wird, wähle ich senkrecht gegen die Richtung der x , also parallel y und z und lege sie durch einen beliebigen Punkt des Mediums, dessen Coordinaten x, y, z seyen. Diesen Punkt betrachte ich als die Ecke eines unendlich kleinen Rechtecks in der angenommenen Ebene, dessen Kanten die Differentiale dy und dz sind, dessen Fläche also $dydz$ ist. Ich suche die Anzahl der durch dieses kleine Rechteck hindurchtretenden Theilchen und die durch dieselben in beiden Richtungen übergeführten Bewegungsquantitäten, die ich mit Q_1 und Q_2 bezeichnen will.

Ferner nehme ich in dem Gase einen Punkt an, dessen Coordinaten x', y', z' sind, und betrachte diesen als eine Ecke eines unendlich kleinen Volumenelements mit den Kanten dx', dy', dz' . Ich bestimme die Anzahl und die Ge-

schwindigkeit derjenigen Theilchen, welche in der Zeiteinheit von dem Volumenelemente $dx' dy' dz'$ aus eine geradlinige Bahn beginnen und vermöge derselben das Flächenelement $dy dz$ durchsetzen.

Die Anzahl der Theilchen in der Einheit des Volumens sey N ; dann ist diejenige Zahl, welche sich in dem Elemente $dx' dy' dz'$ befindet,

$$N dx' dy' dz'.$$

Ist ferner T die Zeit, welche zwischen je zwei auf einander folgenden Collisionen eines Theilchens mit anderen im Mittel verfließt, so ist $\frac{1}{T}$ die Anzahl der in der Zeiteinheit von jedem Theilchen begonnenen geradlinigen Wegstücke. Die Anzahl der von N Theilchen in der Zeiteinheit begonnenen Bahnen beträgt also

$$\frac{N}{T};$$

und die von den jederzeit im Elemente $dx' dy' dz'$ enthaltenen Theilchen in der Zeiteinheit angetretenen Wege

$$\frac{N}{T} dx' dy' dz';$$

und dies ist auch die Anzahl der Theilchen, welche in der Einheit der Zeit von dem Volumenelemente aus fortgeschleudert werden.

Die Zahl derjenigen dieser Theilchen, welche den Weg r zurücklegen, ohne auf ein andres zu stoßen, beträgt nach Clausius und Maxwell¹⁾

$$\frac{N}{T} e^{-\pi r} dx' dy' dz',$$

wenn zur Abkürzung

$$n = \frac{4}{3} \frac{\pi s^2}{\lambda^3}$$

gesetzt wird, wo λ den mittleren Abstand zweier benachbarten Theilchen und πs^2 den Querschnitt eines solchen Theilchens, also s den Radius desselben bezeichnet, falls es kugelförmig angenommen wird²⁾.

1) Pogg. Ann. Bd. 106, S. 248, 1858. Phil. mag. Ed. 19. 1860.

2) Clausius nennt s , vielleicht strenger, den Radius der Wirkungs-

Nennen wir das bis jetzt unbestimmt gelassene r die Entfernung des Punktes (xyz) von dem Punkte $(x'y'z')$, setzen also

$$r^2 = (x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2,$$

so ist die gefundene Gröfse

$$\frac{N}{T} e^{-nr} dx' dy' dz'$$

anzusehen als diejenige Anzahl, welche von dem Elemente $dx' dy' dz'$ ausfährt und durch eine Kugelfläche durchtritt, in deren Mitte das Element $dx' dy' dz'$ liegt, während das Flächenelement $dy dz$ von ihr geschnitten wird. Aus dieser durch die ganze Kugelfläche austretenden Anzahl erhält man die durch das Element $dy dz$ tretende, wenn man dieselbe multiplicirt mit dem Verhältnisse der Projection des Elements auf die Kugel zu der ganzen Oberfläche der Kugel. Letztere hat die Gröfse $4\pi r^2$, und die Projection ist

$$dy dz \cos \vartheta,$$

wenn wir unter ϑ den spitzen Winkel verstehen, den die Richtung von r mit der von x bildet. Demnach ist die Anzahl derjenigen Theilchen, welche in der Zeiteinheit von dem Volumenelemente $dx' dy' dz'$ aus das Flächenelement $dy dz$ durchsetzen,

$$\frac{1}{4\pi} \frac{N}{T} \frac{e^{-nr}}{r^2} \cos \vartheta dy dz dx' dy' dz'.$$

Es fragt sich weiter, welche Bewegungsgröfse von dieser Anzahl Theilchen mitgeführt wird. Da die moleculare Bewegung, welche die Wärme darstellt, durch das ganze Medium gleichen Werth haben soll, so ändert deren Uebertragung nichts, und sie kann deshalb unberücksichtigt bleiben. Es kommt nur auf die fortschreitende Bewegung der Schichten an. Diese sey v an der Stelle (xyz) , und v' an der Stelle $(x'y'z')$. Dann ist die von dem Volumenelemente $dx' dy' dz'$ aus in der Zeiteinheit durch das Flächenelement $dy dz$ hindurchtretende Bewegungsquantität

sphäre eines Moleküls. Bis jetzt scheint es mir aber noch nicht nöthig zu seyn, zwischen beiden Radien zu unterscheiden.

$$dQ = \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} v' \frac{e}{r^2} e^{-ar} \cos \vartheta \, dy \, dz \, dx' \, dy' \, dz',$$

wenn m die Masse eines Theilchens ist.

Hieraus erhält man durch Integration nach x' , y' , z' über eine Hälfte des Mediums den ganzen Werth der von dieser Hälfte durch das Element $dy \, dz$ in die andere hinübergeschickten Bewegungsquantität. Nehmen wir das Medium unbegrenzt an, so ist diejenige Menge, welche in der Richtung der abnehmenden x durch $dy \, dz$ übertritt,

$$Q_1 = dy \, dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} v' \frac{e}{r^2} e^{-ar} \cos \vartheta \, dx' \, dy' \, dz';$$

dagegen die in der entgegengesetzten Richtung übergeführte

$$Q_2 = dy \, dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^0 v' \frac{e}{r^2} e^{-ar} \cos \vartheta \, dx' \, dy' \, dz'.$$

Die Differenz $Q_1 - Q_2$ ist die von der Seite der größeren x auf die andere ausgeübte Reibung

$$F = Q_1 - Q_2;$$

dagegen $Q_2 - Q_1$ die von der Hälfte der kleineren x ausgeübte Gegenwirkung.

Es ist oben vorausgesetzt worden, daß die Geschwindigkeit v eine stetige Function von x , y , z sey; dann ist auch v' eine stetige Function von x' , y' , z' , und man hat durch Entwicklung nach dem Taylor'schen Lehrsatz

$$v' = v + \frac{\partial v}{\partial x}(x' - x) + \frac{\partial v}{\partial y}(y' - y) + \frac{\partial v}{\partial z}(z' - z) + \dots$$

Durch Einsetzen dieser Reihe werden die verlangten Integrationen ausführbar.

Die Rechnung ist ohne Schwierigkeit, wenn Polarcoordinaten eingeführt werden, deren Anfangspunkt in (xyx) liegt. Dazu kann man die bereits eingeführten Größen r und ϑ benutzen und setzen

$$\pm (x' - x) = r \cos \vartheta$$

$$\pm (y' - y) = r \sin \vartheta \sin \varphi$$

$$\pm (z' - z) = r \sin \vartheta \cos \varphi,$$

wenn man die Vorzeichen so bestimmt, daß der spitze Winkel ϑ diesen Relationen genügen kann.

Durch Einführung dieser neuen Coordinaten ergibt sich

$$Q_1 = dy dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^\infty v'_1 e^{-nr} \cos \vartheta \sin \vartheta dr d\vartheta d\varphi$$

$$Q_2 = dy dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^\infty v'_2 e^{-nr} \cos \vartheta \sin \vartheta dr d\vartheta d\varphi,$$

wenn zur Abkürzung

$$v'_1 = v + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \cos \vartheta + \frac{\partial v}{\partial y} \sin \vartheta \cos \varphi + \frac{\partial v}{\partial z} \sin \vartheta \sin \varphi \right) r + \dots$$

$$v'_2 = v - \left(\frac{\partial v}{\partial x} \cos \vartheta + \frac{\partial v}{\partial y} \sin \vartheta \cos \varphi + \frac{\partial v}{\partial z} \sin \vartheta \sin \varphi \right) r + \dots$$

gesetzt wird. Berücksichtigt man nun, daß v und seine Differentialquotienten von den Integrationsvariablen unabhängig sind, so erhält man durch Ausführung der Integrationen

$$Q_1 = dy dz \frac{m}{2} \frac{N}{T} \left\{ \frac{v}{2n} + \frac{1}{3n^3} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{4n^5} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

$$Q_2 = dy dz \frac{m}{2} \frac{N}{T} \left\{ \frac{v}{2n} - \frac{1}{3n^3} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{4n^5} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

und durch Subtraction dieser Ausdrücke als Werth der ausgeübten Reibung

$$F = dy dz m \frac{N}{T} \left\{ \frac{1}{3n^2} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{5n^4} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

Wir erhalten also eine Reihe, welche nach Potenzen von

$$\frac{1}{n^2} = \frac{9}{16} \frac{\lambda^6}{\pi^2 \rho^4}$$

fortschreitet. Ob diese Reihe convergirt, ist in dieser Form nicht einzusehen, da sowohl λ als ρ so kleine Größen sind, daß sie sich jeglicher Beobachtung entziehen. Der Quo-

tient steht aber in sehr einfacher Beziehung zu der mittleren Länge des Weges, den ein Theilchen zwischen zwei Zusammenstößen durchläuft, also zu einer GröÙe, die unter gewöhnlichen Umständen nothwendig sehr klein ist. Es ist nämlich nach einer von Clausius durchgeführten Berechnung¹⁾, welche die erste bahnbrechende Leistung für Untersuchungen dieser Art war, die mittlere Weglänge eines Theilchens

$$l = \frac{3}{4} \frac{\lambda^2}{\pi v^2}.$$

Jene Reihe schreitet also nach aufsteigenden Potenzen der Weglänge fort, oder man hat auch als Ausdruck für die Reibung

$$F = dy dz m \frac{N}{T} \left\{ \frac{l^2}{3} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{l^4}{5} \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \dots \right\}$$

Ist nun, wie es bei Gasen unter gewöhnlichen Umständen der Fall zu seyn scheint, die Länge l eine sehr kleine GröÙe, die kleiner ist als jede mikroskopisch sichtbare Entfernung, so ist es gestattet, diese Reihe nach dem ersten Gliede abzubrechen, also die Reibung zu setzen:

$$F = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} l^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} dy dz.$$

Diese Vernachlässigung ist aber vielleicht nicht mehr gestattet, wenn das Gas sehr verdünnt ist, wodurch die Weglänge sehr vergrößert werden muß. Vielleicht ist dieß nicht ganz unerheblich für die Erklärung der eigenthümlichen Abweichungen, welche ich bei sehr geringem Drucke des Gases beobachtet habe; und ich habe daher auf diese Möglichkeit bereits oben (S. 580) angespielt; doch wiederhole ich hier, daß ich die dort gegebene Erklärung für sehr viel wahrscheinlicher halte.

Sehen wir von so extremen Ausnahmefällen ab, so ist der abgekürzte Ausdruck

$$F = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} l^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} dy dz$$

als der richtige Ausdruck der durch die Reibung auf das

1) Pogg. Ann. Bd. 105, S. 249. 1858.

Flächenelement $dy dz$ ausgeübten Kraft anzusehen. Dieselbe ist also außer der Gröfse des Flächenelementes dem Differentialquotienten der Geschwindigkeit nach der Normale dieses Flächenelementes proportional. Das aber ist die Newton'sche Hypothese über die Natur der Reibung. Nach dieser Hypothese, auf welcher die ganze Theorie beruht, ist die Reibung ausgedrückt durch

$$F = \eta \frac{\partial v}{\partial x} dy dz,$$

worin η der Reibungscoefficient ist.

Für diese Gröfse liefert also die Hypothese der molecularen Stöße den theoretischen Ausdruck

$$\eta = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} l^2.$$

Dieser Ausdruck läßt sich noch auf eine einfachere und übersichtlichere Gestalt bringen, wenn man die zwischen l und T stattfindende Beziehung beachtet. Das Verhältniß dieser beiden Gröfsen ist die mittlere Geschwindigkeit eines Theilchens, die ich u nennen will,

$$u = \frac{l}{T}.$$

Die Geschwindigkeit eines Theilchens besteht aus zwei Theilen, aus der fortschreitenden Geschwindigkeit v und aus der molecularen Geschwindigkeit, deren lebendige Kraft die Wärme ist. Die letztere ist meistens sehr viel gröfser als die erstere, so daß wir v gegen die andere Componente vernachlässigen, mithin u ohne erheblichen Fehler als die Geschwindigkeit der Wärmebewegung ansehen können.

Durch Einführung dieser Gröfse wird der Reibungscoefficient des Gases

$$\eta = \frac{1}{3} m u N l;$$

und dieser Ausdruck wird noch einfacher durch Benutzung der Dichtigkeit ρ des Gases oder der Masse, welche in der Einheit des Volumens enthalten ist; nach dieser Definition ist

$$\rho = Nm;$$

folglich wird der Reibungscoefficient

$$\eta = \frac{1}{3} \rho u l^1),$$

wodurch derselbe sehr einfach definirt ist.

Die Eigenschaften dieser GröÙe lassen sich aber besser durch eine andere Transformation übersehen. Es ist nämlich, da N die Anzahl der in der Volumeneinheit enthaltenen Theilchen und λ^3 das Volumen eines kleinen Würfels ist, in welchem sich nur ein einziges Theilchen befindet,

$$N \lambda^3 = 1.$$

Benutzt man diese Relation und führt aus der oben angegebenen Formel den Werth der mittleren Weglänge ein, so wird der Reibungscoefficient

$$\eta = \frac{1}{4} \frac{m u^2}{\pi \lambda^2}.$$

In dieser Form läßt der Ausdruck übersehen, daß er, wie Maxwell²⁾ schon gezeigt hat, von der Dichtigkeit des Gases unabhängig ist, da λ aus ihm verschwunden ist. Er ist aber proportional der Moleculargeschwindigkeit $u^4)$, also der Quadratwurzel aus der sogenannten absoluten Temperatur oder proportional der GröÙe

$$\sqrt{1 + \alpha \vartheta} \quad \text{oder} \quad 1 + \frac{1}{2} \alpha \vartheta$$

in der ϑ die Temperatur, α der Ausdehnungscoefficient des Gases ist.

- 1) Maxwell (*Phil. mag. Vol. 19, pag. 32. 1860*) hat diese Formel benutzt, die mittlere Weglänge eines Luftmoleküls zu berechnen. Setze ich $\eta = 0,0003$ in Centimetern, ferner für $0^\circ 770 \varrho = 1$ und $u = 480^m$ (Clausius, *Pogg. Ann. Bd. 100, S. 377*), so finde ich $l = 0,00014$ Millimeter, ungefähr mit dem etwas kleineren Maxwell'schen Werthe ($\frac{1}{717000}$) übereinstimmend. Die Zeit T wird 0,0003 Milliontel Secunde, so daß jedes Theilchen in einer Secunde etwa 3000 Millionen mal mit einem anderen zusammenstoßen würde.
- 2) Die von Maxwell aufgestellte Formel unterscheidet sich von dieser nur durch den numerischen Coefficienten. Diese Verschiedenheit beruht auf der des eingeführten Werths der mittleren Weglänge. (s. Clausius, *phil. mag. V. 19, p. 434.*)
- 3) A. a. O. S. 32.
- 4) Stefan, *Wiener Sitzungsber. Bd. 46. S. 12, 1864.*

Diese Folgerungen haben sich durch die unternommene experimentelle Prüfung als angenähert richtig bewährt. Mehr als eine angenäherte Bestätigung war auch nicht zu erwarten, da die durchgeführte theoretische Betrachtung nur für ideelle Gase streng richtig ist, d. h. für solche Medien, welche ausser der Trägheit und Schwere nur geradlinige Bewegung besitzen. Von einem solchen Medium ist ein natürliches Gas ohne Zweifel beträchtlich verschieden; jedenfalls ziehen sich seine Theilchen gegenseitig an¹⁾, dadurch werden ihre Bahnlinien gekrümmt, und ausserdem haben sie neben ihrer fortschreitenden vermuthlich eine rotirende Bewegung²⁾. Diese und vielleicht noch andere Umstände werden die Eigenschaften wesentlich abändern, so daß eine grössere Uebereinstimmung der Beobachtung mit den Forderungen der Theorie, als sie beobachtet worden ist, nicht zu erwarten war. So hoffe ich denn, daß meine Beobachtungen zur Beurtheilung der Ansichten, die mit Recht als die Clausius'schen bezeichnet werden, nicht ganz ohne Werth erscheinen mögen.

Indem ich zum Schlusse an die in der Einleitung dieser Abhandlung besprochenen Fragen wieder anknüpfe, stelle ich die Resultate der Untersuchung in folgenden Sätzen kurz zusammen.

Der Werth der Constante der inneren Reibung der atmosphärischen Luft beträgt in runder Zahl 0,0003, bezogen auf Centimeter und Secunden als Einheiten; sie ist etwa 40mal kleiner als die des Wassers bei 20° C. Eine Einsicht in die Bedeutung dieser Zahl gewährt folgende Vorstellung. Die Luft bewege sich über dem Erdboden in horizontalen Schichten mit so vertheilter Geschwindigkeit, daß jede Schicht in einer Secunde einen ihrer Höhe über dem Boden gleichen Weg zurücklegt. Dann erfährt jede Luftschicht von der über ihr fließenden in einer Se-

1) Thomson und Joule, *Phil. Transact.* 1853 u. 54.

2) Clausius, *Pogg. Ann.* Bd. 100, S. 354, 1857.

cunde eine Reibung, welche gleich dem Drucke von 0,0003 Mgrm. auf die Fläche eines Quadratcentimeters ist ¹⁾).

Mit abnehmendem Drucke der Luft verringert sich der Werth der Reibungsconstante in geringerem Grade als die Dichtigkeit. Aenderung der Temperatur hat sehr unbedeutenden Einfluss auf die Reibungsconstante. Diese Erfahrungen sind mit den Anforderungen einer Theorie in Uebereinstimmung, welche auf der Ansicht beruht, dass die Reibung in einer Bewegung der Luftmoleküle und in einer durch dieselbe vermittelten Uebertragung der Geschwindigkeit besteht.

In sehr verdünnter Luft zeigte sich ein beträchtlicher Einfluss der Luftreibung; derselbe hat seinen Grund vermuthlich in der hemmenden Wirkung der Wandungen des abgeschlossenen Raumes, welche sich um so weiter durch die Luft ausbreitet, je dünner diese ist.

Wegen dieser Eigenschaft der verdünnten Luft ist die von Sabine und Baily angewandte Methode zur Bestimmung der Reduction eines Pendels auf den luftleeren Raum durch Beobachtung der Schwingungen im luftverdünnten Raume zu verwerfen. Von den vorhandenen Bestimmungen des Betrages dieser Reduction ist die von Bessel ausgeführte die zuverlässigste. Dieselbe bestätigt die Richtigkeit des von mir beobachteten Werthes der Luftreibung.

Breslau, im April 1865.

- 1) In einer früheren Abhandlung (Pogg. Ann. Bd. 113, S 383 u. 384) ist fehlerhaft Gramm statt Milligramm gesetzt worden, da eine Division durch die Schwerkraft $g =$ ungefähr 1000^{cm} unterblieben ist. Daher folgende Fehler, welche ich hier zu verbessern Gelegenheit nehme.

S. 384 Z. 1 v. o. lies: nahezu in Milligrammen statt: in Grammen.

S. 385 Z. 12 und 8 v. u. lies: 7 Pfund statt: 70 Centner.

Z. 2 v. u. lies: 1,05 statt: 1050.

III. *Die schwarzen Linien und Ablösungen in den Meteoriten; von Freiherrn von Reichenbach.*

(Schluss von S. 441.)

Stellen wir nun das in der zweiten Abtheilung Erörterte zusammen:

Aufser den schwarzen Linien, Tafeln und Ablösungen der ersten Abtheilung giebt es in den Steinmeteoriten noch eine zweite Art von schwärzlichen Linien, Tafeln und Ablösungen von wesentlich verschiedener Abkunft und Beschaffenheit. Bei dieser letztern, die wir hier soeben betrachtet haben, finden wir:

- A. Hellgrauliche, matte, überaus zarte, schwach gestreifte Ablösungen, noch ohne deutlich sichtbare Linien, (*Stannern*).
- B. Graubräunliche, matte, stellenweise etwas glänzende, deutlich sichtbare Ablösungen, ohne Metallschimmer; (*Doroninsk*).
- C. Erdkobaltbraune, matte, sich breitende, ins Seiten-Gestein einziehende, sich wieder zusammenziehende, in Linien sich zertheilende Ablösungen; (*Charsonville*).
- D. Marmorische; (*Aigle*).
- E. Grobsfleckige; (*Blanskow*).
- F. Furchig gestreifte; (*Atacama*).
- G. Eisengraue mit Metallschimmer; (*Limerik*).
- H. Eisenlamellenführende; (*Schönenberg*).
- J. Ablösungen in Eisenmeteoriten; (*Karthago*).
- K. Schwarze Linien älterer Herkunft in breccienartigen Trümmereinschlüssen der Steinmeteoriten selbständig; (*Dhurmsala*).
- L. Tellurische schwarze Linien brechen die Einschlüsse entzwei, kosmische weichen ihnen aus und gehen neben ihnen vorbei.

Somit sind wir auf den Standpunkt gelangt, von wo aus wir die Thatsachen einigermaassen überschauen und zu Urtheilen verbinden können. — Wir sehen, daß wir es von den schwachen Anflügen in *Langres* und *Stannern* an bis herauf zu den Eisenlamellen zeigenden Ablösungen von *Agen* und *Schönenberg* nur mit einer und derselben Erscheinung zu thun haben, gedehnt in eine lange Reihe von Uebergangsgliedern. Die zarten Andeutungen bei *Langres* (A) zeigen nicht viel mehr, als die ersten kaum wahrnehmbaren Anfänge einer Neigung zu *innern Ablösungen* in den Meteoriten, ohne die Bedingung eines erkennbaren äusseren Anlasses zu einem Risse von Aussen nach Innen. Ebenso wenig ist ein innerer zu erkennen, weil eine deutlich abgelagerte Zwischensubstanz mit Sicherheit noch nicht wahrnehmbar ist. Alles was man bis hierher zu erkennen vermag, ist ein kaum sichtbarer Hauch von schmutziggrauem Ansehen, so daß man z. B. bei *Langres* einen Augenblick im Zweifel seyn könnte, ob nicht in der That etwas Schmutziges zufällig auf die Trennungsflächen gerathen sey.

Wir müssen also an die zweite Gruppe (B) uns wenden und zusehen, ob verwandte Erscheinungen durch stufenweise Abänderungen zu gegenseitiger Erklärung sich herleihen. In der That kommen hier Ablösungen von ähnlicher Art, aber deutlicher und stärker ausgeprägt, zum Vorschein, sie sind jetzt gefärbt, grau bräunlich, matt, einzelne theilweise glänzend, sie geben im Querbruche sichtbare dunkle Linien, es hat sich also irgend etwas blattartig, gangartig in den Körper der Meteoriten eingelagert. Deutlicher noch spricht sich dies bei den erdkobaltbraunen (C) breiteren Bildungen aus.

Weiter finden wir die Linien, welche das Ausgehende der Blätter und Gänge sind, unter sich anastomosiren (D); wir finden sie, wo sie in grösserer Menge vorkommen, sich schaaren (E) oder sich dichotom zergabeln, und dies nicht selten bis ins Kleine und seltsam verwirrt. Dies schliesst die Möglichkeit einer Entstehung durch äussere Gewalt aus, die immer bestimmte Richtung hat.

In den folgenden Gruppen (*F*) verlieren wir beinahe die Linien und Ablosungen aus dem Gesichtsfelde, sie breiten sich, werden marmorisch, dann fleckig (*G*), vermengen sich mit dem Seitengestein, verschmelzen sich mit seiner Substanz und stellen nun gemischte Körper dar, die aus Stein und Ablosungssubstanz innig zusammengesetzt sind. Diefs weist uns hin auf einen gewissen Grad von *Gleichzeitigkeit* in der Entstehung des Meteoriten und seiner Linien- und Ablosungssubstanz. So innig, wie in *Charsonville*, *Chantonnay* und in *Mains* konnten sie sich nur dann mit dem Gestein ihres Meteoriten verbinden, wenn beide zu gleicher Zeit miteinander entstanden. Den sprechendsten Beleg hierfür liefert der Umstand, daß in diesen gemengten Theilen des Steines *nur ungefähr halb so viel Gediogeneisen* sich vorhanden zeigt, als in den reinen und mit der Ablosungssubstanz unvermengten Antheilen desselben. Jene wirkte als Verdünnungsmittel auf die Gemengtheile des Meteoriten, und so wurde das Eisen bis auf die Hälfte dilatirt. Diefs war nur unter der Bedingung möglich, daß die Bildung des Steines und die der Ablosungssubstanz *örtlich und zeitlich zugleich* vor sich ging.

Immer mehr Deutlichkeit gewinnen sehen wir die Linien und Ablosungen in der nächsten Gruppe (*H*), wo sie sich streifig und gefurcht herausbilden; immer noch ohne Metallschimmer; dann in der nächsten (*J*), wo sie matt schwarz in zunehmender glanzloser Intensität bestehen. Nun gesellt sich (*K*) grauer metallischer Schimmer hinzu; Linien und Ablosungen nehmen *graphitisches Aussehen* an, färben aber nicht ab. Einige Splitter davon, die ich von den starken Ablosungen von *Lixna* ablöste, wurden schnell *vom Magnete an sich gerissen und waren Eisen*. Das Siegel aber auf alle diese Hergänge drückt das Auftreten blattförmigen Eisens (*L*) in den Linien und Ablosungen von *Schönenberg* u. a., *meteoritisches Eisenblech* möchte man es nennen. Hier schliefslich bekennet die Natur offen, was sie mit allen diesen Anflügen, schwarzen und grauen, matten und schimmernden Gangbildungen beabsichtigt hat: **Ab-**

Einlagerung von Eisen in einer andern als sonst in den Meteoriten — in einer blätterigen Form.

All dies zusammen führt uns zu der Erkenntniß, daß die Natur sich *zweier verschiedener Wege* bedient, um Eisen auf die Meteoriten abzulagern: *Einmal den der regelmäßigen Krystallisation*, auf welchem sie hauptsächlich Balkeneisen (Kamazit) und in manchen Fällen selbst die ganze Trias nebst Glanzeisen, (Lampritz) ausbildet, z. B. in Hainholz, in Blansko, in Tula; *das Anderemal den der Schichtung*, mittelst deren sie das Eisen in seinen Schuppen bis zu blechähnlichen Lamellen ausgebildet in die Meteorsteine einlagert. Der letztere ist es dann, auf welchem sie die schwarzen Linien und Ablosungen dieser zweiten Kategorie zu Stande bringt.

Der *Eisenschimmer* auf den Ablosungen mancher Meteorsteine hat vollkommen das Aussehen von Graphit. Aber außerdem, daß er nicht abfärbt und daß davon abgelöste Blättchen gierig vom Magnet aufgegriffen werden, müßte man, wenn er vorhanden wäre, schon längst in den Analysen reichlich Graphit gefunden haben, z. B. Laugier in Liéna; er hat aber gar keine in seiner Analyse angegeben, weil in dem reichlichen Eisenschimmer dieses Meteoriten kein Graphit zugegen ist. Zwar hat Hr. Wöhler in dem Meteoriten von Madaras 0,25, in dem von Bremervörde 0,14 ¹⁾ und in dem von Kakowa 0,15 ²⁾ Graphit gefunden; diese Mengen sind aber bei weitem zu gering, um den Gehalt an Eisenschimmer in diesen Steinen ausdrücken zu können.

Wir sehen, daß der Inhalt, die Füllsubstanz der Linien, Anfüge, Ablosungen in der Reihe der Meteoriten vom schmutziggrauen, durchs rothbraune, dann schwarze ins grau-eisenschimmerige verläuft und sofort mit metallischem Eisen endigt.

Diesem Farbenverlaufe entspricht, bis auf ein gewisses

1) Diese Annal. Bd. 98, S. 619

2) Ann. der Chem. und Pharm. Bd 110, S. 123.

Maafs, der Zustand des Eisens, wie wir es auf den Ablösungen finden. Von dem ersten schmutzig undeutlichen Anfluge schreiten sie zu grau-braunen und schwarz-braunen Ueberzügen fort, in denen deutlich Eisenoxyd reichlich vorhanden und häufig mit graulicher und schwärzlicher Substanz gemengt ist. Die braune Farbe rührt von Rost her, der sich später an der Luft erzeugte. *Barbotan* giebt in manchen Exemplaren ein gutes Beispiel. Hier ist das Eisen in der Länge der Zeit rostig geworden. Das Graue sind noch nicht in Rost übergegangene *Eisenschuppenreste*. Das *Schwarze* ist in seiner Substanz noch fraglich. Seinen äusseren Beschaffenheiten nach ist es kohligler Natur, ist aber der geringen Menge seines Vorkommens wegen noch nicht zureichend untersucht. Aus diesen drei Gemengtheilen, dem Eisenschimmer, den Eisenlamellen und den russig kohligen ist in dieser zweiten Abtheilung die Füllsubstanz der Linien und Ablösungen in der Regel zusammengesetzt. Eine umsichtige analytische Arbeit darüber wäre sehr zu wünschen. Verfolgen wir sie durch alle Abstufungen, die ich dargelegt habe, so finden wir immer dieselben Gemengtheile, nur in andern Mengenverhältnissen. Sie nehmen zu an schwarzer Substanz, werden dunkler und dann ganz schwarz mit darin zerstreuten feinsten Schüppchen von Eisen, sind aber noch ohne Glanz. Später wird Eisenschimmer sichtbar, das Schwarz tritt zurück; der Eisenschimmer mehrt sich und Linien und Ablösungen gewinnen graphitiges Ansehen. Zuletzt geht dieß in zusammenhängendes Eisen, in ein dünnes Blech über, das jedoch, soweit ich es in vielen Exemplaren zu München, Paris und im britischen Museum zu verfolgen im Stande war, immer noch zu beiden Seiten von gemengter brauner Füllsubstanz begleitet ist.

Die Absicht der Natur ging also offenbar dahin, Eisen in den Meteorsteinen niederzulegen. Sie that es in der Form feiner Schüppchen, die sie mehr und minder stufenweise zu Blättern, zuletzt zu gröfseren Lamellen wie Blech vereinigte. Damit erreichte sie ihren nächsten Zweck. Was

in langer Zeit durch Verrostung an ihr geändert worden, ist terrestrisches nachträgliches Angehänge und hat mit der meteoritischen Entwicklung des Steines nichts gemein; es hat sie nur verunstaltet, ist tertiär und gehört in die Kategorie der Rostrinde.

Aus der Vergleichung aller Thatsachen der ersten und der zweiten Abtheilung gegenwärtiger Auseinandersetzungen geht nun der schon oben berührte Hauptunterschied im Herkommen dieser schwarzen Linien und Ablösungen hervor: Die Erstere, welche Rissausfüllungen mit geschmolzener Rindensubstanz sind, sind Erzeugnisse des feurigen Durchganges durch die Atmosphäre, also Einwirkungen unseres Planeten auf die Meteoriten angehörig. Die Zweiten welche aus Auflagerung auf die werdenden Meteoriten bei ihrer Entstehung sich herleiten, gehören der Bildungsthätigkeit der Welträume an. Jene sind also *tellurische*, diese aber *kosmische* Gebilde und nach diesem Unterschiede ihres Herkommens, möchte ich sie auch immerhin benennen, wie dies schon oben geschehen.

Hierbei darf nicht übergangen werden, daß nicht selten auf einem und demselben Meteoriten neben einander tellurische und kosmische Linien und Ablösungen zugleich vorkommen. Die letzteren fallen in die Geschichte der ersten Entstehung eines Meteoriten, die Ersteren in die seines Schicksals beim Durchgange durch den Dunstkreis.

Die Streifen und Furchen, welche sich auf den Ablösungen zeigen und die parallel miteinander über die entblößten Steinflächen beider Theilstücke des Steines hinlaufen, erscheinen auf den ersten Anblick sehr räthselhaft. Die Erklärung wird sich aber ergeben, wenn man auf die XI. dieser Abhandlungen (Ann. Bd. 108, S. 291) zurückblicken will. Dort ist dargethan, daß die Apposition der Substanz bei der Bildung der Meteorsteine nach der Regel der Schichtung vor sich gegangen ist. Die Stratification erstreckt sich nun nicht bloß über die feineren und kry-

stallinischen Bestandtheile, sondern sie hat auch die Kugeln und alle freien Körperchen, die sich dem Hauptkörper anschlossen, unter ihr Gebot genommen. In Folge dessen sieht man diese Dinge alle auf dem Querbruche in Reihen geordnet. Diese Reihen werden oft durch eine ganz seltsame Weise schon dann wahrnehmbar, wenn der Stein durch viele schmutzige Hände gegangen ist, z. B. beim ersten Funde, wo Bauern ihn zerschlagen und von einer fettigen Hand in die andere gegeben haben. Da werden alle kleinen Protuberanzen schmierig und schmutzig, während die Concavitäten verhältnißmäßig rein bleiben. Fürs Auge ergeben sich dann parallele Reihen beschmutzter höherer Punkte zwischen parallelen Reihen lichter und reinerer tieferer Punkte. So erkennt man bei einiger Aufmerksamkeit und Übung nicht selten schon auf höchst empirischem Wege das schichtige Gefüge der Steinmeteoriten, z. B. auf *Timochin*, *Borkut*, *Richmond*, *Clarac*, *Benares*, *Meno*. Dabei müssen wir Weiteres annehmen, daß dieselben in ihrem primitiven Zustande, während nämlich Stoff auf Stoff sich ihnen auflagerte, auf ihren im Werden begriffenen Oberflächen rauher gewesen seyn werden; als sie auf dem Bruche erscheinen, den wir jetzt quer auf ihre Schichtung bewirken; die gröberen in den Stein eingeschlossenen Partikelchen müssen also noch stärker über die verbindende Substanz hervorgeragt, also stärker ausgesprochene Reihen gebildet haben, als wir sie nachher beim Bruche hervortreten machen können. Faßt man diese Verhältnisse wohl ins Auge und denkt man sich nun die Auflagerung einer Wolke von feinen Schüppchen über diese rauhe Fläche, so wird man sogleich die Vorstellung von Linien und Furchen gewinnen, wie wir sie thatsächlich auf den Meteoriten da vor uns sehen, wo sie in der Richtung einer schwarzen Linie voneinander gebrochen werden. Die sich anlegenden Schüppchen gleichen hoch und nieder eingermaßten aus, und so entstehen die scheinbaren Furchen und Streifen; sie sind nicht durch Reibungen entstanden, wie es auf den ersten Anblick täuschend scheint, sondern

sie sind eine Folge der Schichtung der ungleichförmigen Substanzen, die sich hier zu einem festen unebenen Körper zusammenthaten. Auf das Schüppchenstrat unmittelbar legten sich dann wieder neue Meteoritsubstanzstraten und schlossen es in der Weise zwischen sie ein, daß das feine Blatt dazwischen zu liegen kam, das im Querbruche dann als schwarze Linie sich darstellte. Während so die Erscheinungen eine um die andere der Supposition entsprechen, rechtfertigen sie die zu Grunde gelegte Hypothese und erheben sie mit den daraus fließenden Folgerungen auf die Stufe der Theorie.

Die eisenschimmernden Ablösungen finden wir am meisten und am ausgesprochensten da, wo die Meteorsteine die größere Festigkeit und Härte besitzen, z. B. in *Limerik, Tippenari, Blansko, Aigle, Doroninsk, Seres, Barhotan, Madaras, Nulles, Macerata, Okniny, Cabarras, Tabor, Lixna*. Dagegen sind die wenigsten, am Ende fast gar keine vorhanden auf den weichen, schwächer zusammenhaltenden zerbrechlicheren Meteorsteinen, wie in *Stannern, Uden, Schalka Aumieres, Constantinopel, Jonzac, Mauerkirchen, Langres, Manegaan, Kaba, Alais, Hartford, Kakowa, Clarac, Utrecht, Nasheille, Oesel, Zaborziza, Czartoryia, Charkof, Castine, Milena, Jowa, Chantacapur, Poliz, Favars, Gent, Cereseto, Renard, Forsyth, New Concord*. Man sieht, daß sich auf die Seite der Eisenschimmerigen lauter dunkelgraue Meteoriten stellen, auf die Seite derer, welche wenig oder gar keine eisenschimmerige Ablösungen machen, fast lauter weißliche treten.

Ein drittes Moment, das hier in Betracht kommt, besteht noch darin, daß der Eisenschimmer vorzugsweise da vorkommt, wo der reichere Eisengehalt sich befindet; daß dagegen da, wo das Eisen in geringerer Menge vorhanden ist, der Eisenschimmer fast fehlt.

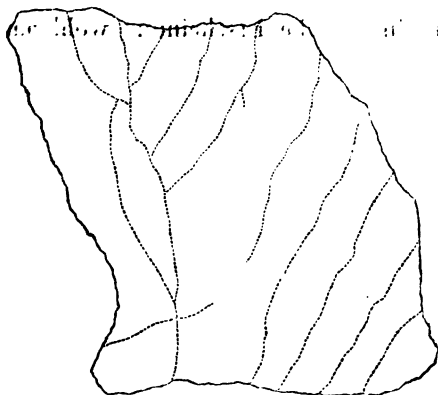
Es gehören also die terrestrischen Linien und Ablösungen mehr den weicheren, zerbrechlicheren, weißeren, an

Eisengehalt ärmeren Meteoriten, *die kosmischen Linien* mehr den härtern, festern, dunklern, an Eisen reichern an.

In Betracht *der Richtung* findet man die kosmischen Linien und Ablösungen ohne feste Regel. Sie sind gekrümmt gebogen, wellig, unordentlich nach allen Richtungen gebeugt. Sie schmiegen sich unbedingt ihrer Unterlage an, so wie ihre Auflage sich wieder ihnen anschmiegt. Davon geben *Costarica* in der Ecole des Mines und in meiner Sammlung, *Dhurmsala* und einige andere im britischen Museum, dann *Limerik*, *Tipperari*, *Lixna*, *Gütersloh*, *Aigle* und *Blansko* in meiner Sammlung die sprechendsten Beispiele. Aber auch unter sich besitzen diese Eisenschuppenflächen auf den verschiedenen Steinen keine Richtungsregel. Sie sind unter allen Winkeln gegen einander geneigt, kreuzen sich nicht selten bis zum Senkrechten auf einander, z. B. auf *Dhurmsala*, wo ich das eine Längsende des fast flasrigen Steines geradezu truncat senkrecht gegen die Mehrzahl der Ablösungsflächen abgeschnitten fand. Die Anordnung der sich schneidenden Ablösungsflächen wird endlich in einigen Meteorsteinen so chaotisch, daß man auf dem unebenen Bruche fast nichts mehr sieht, als lauter sich drängende Ablösungen. So namentlich auf dem öfterwähnten *Dhurmsala*, aber auch auf *Lixna*, *Limerik*, *Akbarpur*, *Tipperari*, einigen Bruchstücken von *Atacama*, auf einem *Ensisheim* im Jardin des Plantes zu Paris und einem solchen in meiner Sammlung. Manche ähneln gewissen Ablösungen, die man auf Stufen von Quecksilberlebererz von *Idria* sieht; auch an den blauen und rothen Thonen in der Keuperformation kommt eine äußerlich ähnliche Erscheinung nicht selten vor.

Dagegen ist die Bildung dieser eisenschimmrigen und eisenen Blätter sichtlich an eine gewisse *Periodicität* gebunden gewesen. Diefs beweist ihr abwechselndes Auftreten mit der Steinsubstanz der Meteoriten. Am schönsten ist dieses von der Natur ausgesprochen in dem für

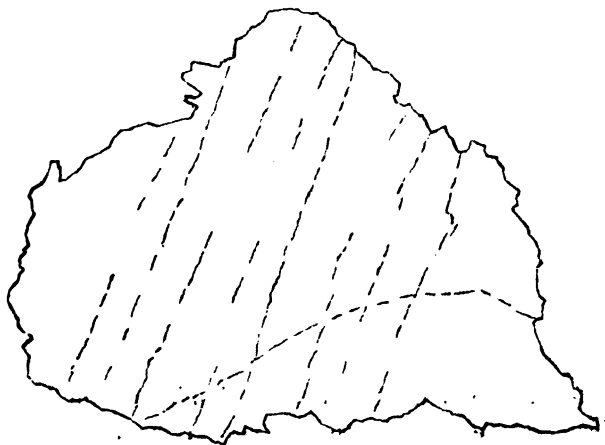
unsere Untersuchungen unschätzbare Meteoriten von *Schönenberg* in der Sammlung der Akademie zu München. Im Jahre 1847 lieferte Hr. Schafhäutl in den »Gelehrten Anzeigen der bayerischen Akademie der Wissenschaften« einen durch die Nummern 69 bis 72 laufenden langen Bericht darüber. Darin ist schon angegeben, daß »sieben Streifen von silberweißem, weichen, leicht rostenden Nichteisen durch die ganze Masse des Meteorsteines sich erstrecken, und sich zu einem Korne von 2 bis 3 Linien Durchmesser vereinigen. Diese Schnüre seyen bald $\frac{1}{4}$, bald $\frac{1}{2}$, bald $\frac{3}{4}$ Zoll von einander entfernt. Auf diese Schnüre setze beinahe rechtwinklig eine andere Schnur oder Ebene von Nichteisen herab, welche man durch die ganze concave Basis verfolgen könne. — Diese Metallschnüre« fährt Hr. Schafhäutl fort, »bilden das einzige Unterscheidungsmerkmal zwischen dem *Schönenberger* und dem *Mauerkirchner* Meteoriten, in welchem letzterem sich keine solche vorfinden«. Da die Erscheinungen auf *Schönenberg* bis jetzt als Prototyp für ihre Gattung dastehen, so habe ich es für unerläßlich eine Skizze davon mitzutheilen die hier in beistehender Figur in ein Drittel natürlicher Gröfse gegeben ist. Die punktirten Linien bezeichnen die Eisenblätter.



Sie laufen durch den ganzen Stein hindurch und kommen auf der Kehrseite unverändert wieder zum Vorscheine.

Stellenweise verdicken sie sich etwas, stellenweise werden sie sehr dünn, stellenweise schwinden sie so sehr, daß nur noch ein gelber Rostbesteg übrig bleibt. Auf einem Bruche heißt eine solche Linie von ungemeiner Feinheit aus und geht an der Luft in Rost über. Immer aber geht die *Lagerung der Linien und Blätter deutlich parallel mit der Schichtung und dem Gestricke des ganzen Steines* und deshalb kommen auch Blätter zwischenein vor, welche senkrecht auf der Hauptrichtung stehen, immer in Uebereinstimmung mit den Gestrickrichtungen. Immer jedoch bleibt das ziemlich regelmäßige Alterniren zwischen Steinsubstanz und Eisenblättern vorzugsweise bemerkenswerth. Im Durchschnitt steht ein Eisenblatt vom andern 9 Lin. Gest. (≈ 2 Centimeter) ab, schwankt aber entlang ein wenig hin und her. Die Zeichnung giebt davon nur ein annäherndes Bild, da man über die Form und Richtung nur dann vollständig urtheilen kann, wenn man den Stein von allen Seiten vor sich sieht. Doch zeigt sie hinreichend die Aufeinanderfolge in der Ablagerung von Steinsubstanz und Eisenblättern, und verräth durch die Gleichförmigkeit in diesen Wiederholungen die Periodicität im Hergange bei der Bildung des Steines und im Auftreten seiner Glieder, besonders der Eisenblätter.

Wo man eine solche Erscheinung wohl am wenigsten



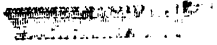
zu finden hoffen sollte, das ist auf *Pallas*. Aber im Jardin des Plantes ward ich einen solchen gewahr, der zu interessant ist, als daß man eine Zeichnung davon versäumen dürfte (siehe vorhergehende Seite): Die punktirten Linien bezeichnen die Eisenblech haltigen schwarzen Linien, die *Stratification* derselben und die *Periodicität* ihres Auftretens bei der Bildung des Steines in ungewöhnlicher Deutlichkeit und Schönheit.

Wie die Ablagerung der Ausfüllungssubstanz eine gewisse veränderliche *Periodicität* in den Meteoriten beobachtet, so zeigt sie auch in Hinsicht auf *Intensität der Ablagerung* einen gewissen Wechsel. Wir sahen viele Linien und Ablösungen, welche sich scharf auf Papierdicke oder auf Blätter ähnlicher geringen Dicke beschränkten, von den ersten schwarzen Linien an bis herauf zu den blechähnlichen Eisenlamellen. Hier fand also eine dichte, intensiv gedrängte Ablagerung der Füllsubstanz statt, scharf abgegränzt von der Steinsubstanz des Meteoriten, in welcher sie eingeschlossen war. Bald aber sehen wir die Füllsubstanz sich in die Breite ausdehnen, mit dem Steine beiderseits sich verbindend und dies stufenweise so übernehmend, daß Füllsubstanz und Steinsubstanz sich gänzlich und untrennbar mit einander in Eins zusammenmengen, wie bei *Chantonay*, *Mains* u. a. Die Intensität in der Ablagerung hat also stufenweise abgenommen und ist am Ende ganz gesunken. Der Grund dieser Verschiedenheit kann kein anderer seyn, als daß in den ersten Fällen die Füllsubstanz sich rasch und in ihrer Phase allein abgelagert also in sich dicht zusammengedrückt hat. Wenn aber diese Ablagerung nicht subitan, sondern mit einer geringern oder größern Langsamkeit von statten ging, so lagerte sich gleichzeitig mit der Füllsubstanz auch Meteoritensubstanz ab, und wir haben nun das Bild einer geringern Intensität der Erstern vor uns, dafür eine unregelmäßige Zusammenbildung von beiden.

Was die Substanz dieser Eisenblätter anlangt, so nennt sie Schafhäutl bei *Schönenberg* „Nickeleisen“. Allein er liefert keine Analyse, welche diese Benennung rechtfertigte. Es wäre sehr zu wünschen, daß diese Eisenlamellen genau analysirt würden. Ich konnte dieß auf der Reise nicht versuchen und von dem Steine selbst besitze ich so viel wie nichts. Wollte Hr. von Kobell, unter dessen Obhut sich der Meteorit von *Schönenberg* befindet, von diesen Blättchen etwas rein heraussondern und uns eine Analyse davon geben, so würde er eine Arbeit vollbringen, für welche wir ihm großen Dank wissen müßten. Dabei wäre noch wünschenswerth, daß die Eisenbleche auf dem Bruch unter Mikroskop gebracht würden, um Kenntniß von der Art ihres Gefüges zu erlangen; ob sie vielleicht dem von *Agram* gleichen?

Es ist hier wohl der Ort, eine ähnliche, seltsame, bis jetzt ganz isolirt stehende Beobachtung über *blättrige Eisenbildung* in den Meteoriten hier einzureihen. — Auf dem merkwürdigen Meteoriten von *Agram* in der kaiserlichen Sammlung zu Wien fand ich freilich schon vor 31 Jahren unter der Verwaltung des gefälligen Custos Megierle von *Mühlenfeld*, beide Hauptseiten dieser über 70 Pfd. schweren Eisenmasse mit Ueberzügen — Rinden kann man sie nicht wohl nennen — von ganz verschiedener Beschaffenheit bedeckt. Die eine ist mit einer dünnen Haut von Eisenoxyduloxyd überzogen, ganz wie *Charlotte* und *Hauptmannsdorf*, welche drei Meteoriten kurz nach dem geschehenen Niederfallen aufgehoben worden sind. Die andere entgegengesetzte Seite aber hat keinerlei Brandrinde, kein Eisenglas, sondern eine ganz eigenthümliche Bedeckung auf sich liegen, nämlich eine Rinde von *metallischem Eisen*. Sie ist eine Linie dick und läßt sich willig in Blättern vom Eisenkörper des Hauptmeteoriten ablösen, mit dem sie keinen festen Zusammenhang hat, ja von dem sie durch einen Hauch von Eisenoxyduloxyd zwischen beiden getrennt ist. Auf der Seite, mit der sie dem Eisenkörper anliegt, ist diese

Haut platt, auf der nach aufsen gekehrten aber mit feinen Wärzchen, Papillen, dicht bedeckt und davon gänzlich rauh. Sie ist nicht biegsam, sondern bricht leicht entzwei. Auf dem Bruche zeigt sie nichts weniger als verbrannte Natur, sondern erscheint ganz metallblank. Schon mit freiem Auge erkennt man, mit der Lupe aber sieht man sehr deutlich, daß diese eine Linie dicke eiserne Haut wiederum nicht einfach ist, sondern aus fünf bis sechs auf einander liegenden metallischen Häuten, also aus Blättern besteht, die eine nach der andern aufgelagert worden sind. Und diese Blätter zeigen sich feinfasrig, die Fasern fast senkrecht auf ihre beiden Flächen gerichtet, wodurch sie das Aussehen von Cölestin oder Fasergyps von dünnen Lagen erhalten, alles mit eisengrauem Metallglanz versehen. Die letzte Schicht, die der Papillen, ist minder dicht, weniger vollendet als die unter ihr liegenden. Der Seltenheit wegen füge ich hier eine vergrößerte Zeichnung bei. Ich hätte sehr ge-

 wünscht, diese in ihrer Art ganz einzige, in vielem Betracht überaus merkwürdige und für die Theorie viel versprechende Erscheinung genau und umständlich studiren zu können; allein der schwere Eisenklumpen, von dem wir soviel hören und so wenig sehen, liegt jetzt in einem Kasten unter Glasfenstern, bis wohin das Auge zu genauerer Betrachtung und Prüfung nicht reicht, und an ein Herausnehmen aus seinem Käfig ist der Umständlichkeiten wegen dermal nicht zu denken. Eine erschöpfende Untersuchung dieser interessanten Verhältnisse muß also künftigen Zeiten überlassen bleiben.

Bei allgemeiner Betrachtung gewinnt es das Ansehen als ob *Agram* an der Erscheinung der schuppigen Eisenablagerung einen einigermaassen abgeänderten Theil genommen hätte. Da dieser Meteorit kein Stein, sondern eine Eisenmasse ist, so kann es nicht befremdend seyn, daß das Gebilde hier in etwas abgeänderter Weise sich gestaltet hat. Es war hier kein Mangel, sondern ein Ueberfluß von Eisen überhaupt, Steinsubstanz dagegen mangelte gänzlich.

Aber wie hier auf und in Steinen, ebenso bei *Agram* auf Eisen trat eine Bildungsthätigkeit für Blättriges über die ganze eine Hälfte des Meteoriten auf, die zuletzt in feinsten Fasern unter fünfmaliger Wiederholung endigte. Wo wir bei den Steinen vielmalige Wiederholung von gestreiften Schüppchen sehen, die zuletzt ebenfalls in Blättriges, in eine Form von Blech, übergehen, da haben wir auf *Agram* den Repräsentanten in nicht minder grossen metallischen übereinander geschichteten Lamellen. Ohne Zweifel lag auf dieser Blätterschicht noch die unerlässliche Brandrinde, die von den vielen Händen, durch welche der Meteorit seit mehr als einem Jahrhundert gewandert, abgebröckelt worden ist, und mit ihr auch Fleckweise die Eisenblätter selbst.

Somit sehen wir die Erscheinungen, welche wir an den Meteoriten aller Kategorien wahrnehmen, nämlich das geschichtete Gefüge der Steinmeteoriten, das blättrig geschichtete Auftreten des Inhaltes der Ablosungen, die geschichtete Auflagerung der Eisenschüppchen bis zur Vereinigung zu Eisenblech und die Stratification von fünf Eisenbäuten über den Eisenmeteoriten von *Agram*, sich in Einem Brennpunkte sammeln, in dem nämlich, daß sie alle von einer Kraft beherrscht werden, die, wo ihr nicht Krystallisationskraft in den Weg tritt, allenthalben nach dem Gesetze der Schichtung thätig ist, und die Auflagerung der constituirenden Bestandtheile der Meteoriten nach der Regel der blättrigen Superposition vollzieht.

Wir langen somit hier bei *zwei Grundkräften an, welche wir am Bau aller Meteoriten jede in ihrer Richtung wirksam sehen, der uns ihren Gesetzen nach bekannten, der Krystallisation, und der uns ihrem Ursprunge nach hier unbekannten, der Schichtung.*

Die Linien, Ablosungen und alle zugehörigen Erscheinungen sind zwar, wie wir sahen, in sehr vielen Steinmeteoriten, ja in der grossen Mehrzahl derselben anzutreffen, jedoch bleibt noch eine Anzahl übrig, in denen sie sich

nicht vorfinden, und diese darf ich hier nicht unerwähnt lassen. Dabin gehört zunächst *Borkut*, ein tiefgrauer Meteorit, dessen Hauptkörper in meiner Sammlung sich befindet. — Ebenso *Meno* den ich ebenfalls noch fast ganz besitze. Diese beiden Steine zeigen nirgends eine Spur von Linien oder Ablösungen weder tellurische noch kosmische. — Im Jardin des Plantes zu Paris sah ich das Hauptstück von *Juvenas*, einen Block von einem Cubikfusse, 90 Pfd. schwer, von allen Seiten angebrochen, ich gewahrte aber nirgends eine Ablösung. Auch zwei schöne Stücke davon in meiner Sammlung sind davon gänzlich frei. — *Mauerkirchen* im Hauptstücke bei der Akademie zu München, außerdem in einem großen Bruchstücke zu München, dann im britischen Museum und mehrere Exemplare in meiner Sammlung fand ich ganz frei von schwarzen Linien. — An *Wenden*, wovon ich im Berliner Museum das Hauptstück sah, gewahrte ich nichts dergleichen. — Ebenso wenig an *Maessing*. Leer sind ferner *Parma* im Jardin des Plantes; *Schalka*, *Manegaon*, *New Concord* im britischen Museum; *Benares*, *Clarac* und *Ausson*, *Timochin*, *Bachmut*, *Härtford*, *Nanjemoj*, *Poliz*, *Zaborschiza*, *Chantacapur*, *Milena* und *Oesel*, alle in meiner Sammlung und noch manche andere. Es ist demnach nichts seltenes, daß Steinmeteoriten gänzlich frei sind von den Erscheinungen der schwarzen Linien und ihrem Zugehör.

Rückblick.

1) In vielen Meteoriten, zumeist Steinmeteoriten, zeigen sie auf dem Bruche *dunkle Linien*, die das Ausgehende von schwärzlichen Blättern sind, von denen sie durchsetzt werden, und in deren Richtung man sie durch Ablösung entzwei theilen kann.

2) Diese Linien und Ablösungen sind von zweierlei Natur,

a) solche, die sich beim Durchfluge der Meteoriten durch die Erdatmosphäre im Feuer erzeugten, *tellurische*;

b) solche, welche bei der ersten Entstehung der Meteoriten in den Welträumen sich bildeten, *kosmische*.

3) *Die Ersten, die tellurischen*, leiten sich ab von Rissen, welche die Steine durch zwei verschiedene Einwirkungen erlitten;

a) durch ihre über 5000° C. steigende Erhitzung vermöge außerordentlicher Zusammendrückung der Luft;

b) durch den Gegendruck der von ihnen mit planetarischer Geschwindigkeit durchheilten atmosphärischen Luft.

4) In solche klaffende Risse ist

a) die geschmolzene Rindensubstanz hineingeflossen und hat sie ausgefüllt.

b) hierin ist sie bei ihrer Dünnsflüssigkeit durch das Haarröhrchengesetz unterstützt, und

c) durch gleichzeitig wirksam gewordenen atmosphärischen Luftdruck in die feinsten Ritzen hineingepresst worden.

5) Sie ist schwarz, wo Eisen in den Meteoriten reichlich vorhanden ist, fast farblos, wo dies fehlt.

6) Diese Ausfüllungen, von gleicher Substanz mit der Rinde, hängen mit ihr unmittelbar zusammen.

7) Bisweilen laufen einige solcher Rissausfüllungen neben einander fast parallel; oder sie stellen sich bis rechtwinklig auf einander, oder sie durchschwärmen den Meteoriten.

8) *Die Zweiten, die kosmischen*, leiten sich ab von eigenthümlich feinschuppigen Eisenablagerungen, welche sich in den Stein im Laufe seiner ursprünglichen Entstehung zu Blättern zusammengethan haben.

9) Sie fangen an mit kaum wahrnehmbaren Anflügen inmitten der Steinsubstanz, werden deutlich, indem sie sich übergangsweise bräunlich bis dunkelbraun färben; dann werden sie erdkobaltbraun, sofort grauschwarz, schwarz; hierauf nehmen sie schimmerndes Eisengrau an und gehen zuletzt in Eisenlamellen, in zusammenhängendes blattartiges Eisen über.

10) Der Menge ihrer Substanz nach dehnen sie sich vom feinsten Anfluge an erst zu dünnen, allmählich zu papierdicken Blättern aus; dann sich verstärkend durchsetzen sie den Stein gangartig, oder sie mengen sich mit dem beiderseitigen Gestein, zwischen das sie eingelagert sind; oder sie verdicken, vermehren, verzweigen sich ins Breite.

11) Der Form nach anastomosiren sie oftmals, zergabeln, oder schaaren sich, werden scheckig, oder marmorisch, oder breiten sich durch den ganzen Stein aus. Sie gestalten sich an manchen Orten streifig, gefurcht und dieß nebeneinander mitunter krummlinig parallel. Die Richtung dieser Streifen und Furchen entspricht genau der gestrickten Fügung des Gesteins.

12) Auch in Eisenmeteoriten kommen analoge, weniger deutlich ausgesprochene Erscheinungen vor.

13) Die interessanteste Form ihres Vorkommens erscheint in Meteoriten, welche kleinere Meteoriten, von älterem Herkommen eingeschlossen halten. Auf diesen vollständigen Enclaven zeigen sich schwarze selbstständige Linien, die ausschließlich auf sie sich beschränken, und ebendamit nicht der ersten Abtheilung, *nicht den tellurischen angehören können, sondern der Zweiten, der kosmischen angehören müssen.*

14) die Natur bedient sich also zweier Formen der Eisenablagerung in den Steinmeteoriten: der der Krystallisation, und der der Schichtung.

15) die eisenreicheren Steinmeteoriten zeigen sich als die härteren; sie sind zugleich die dunkler grauen, diesen kommen vorzugsweise die kosmischen Linien zu. Auf den eisenärmern, weichern, weißern treten mehr die tellurischen auf.

16) Es zeigt sich eine gewisse periodische Wechselthätigkeit in der Ablagerung von gemengter Steinsubstanz und schwarzen Linien nebst Blättern auf den Meteoriten.

17) Die Dichtigkeit der Ablagerungssubstanz wechselt und giebt Linienzeugnisse verschiedener Art.

18) Eisenblätter von einer ganz eigenthümlichen Form trägt der Meteorit von Agram.

19) Nicht alle Steinmeteoriten besitzen schwarze Linien, eine Anzahl ist deren ganz baar.

IV. *Die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei der Wolkenbildung;* von Dr. Th. Reye,

Privatdocent in Zürich.

Friedrich Mohr giebt in Pogg. Ann. Bd. 117, S. 89 eine ins Einzelne gehende Erklärung von der Entstehung des Hagels. Er nimmt an, daß die weit unter dem Gefrierpunkte erkalteten oberen Luftschichten bei der Bildung von Gewitterwolken herabgezogen werden, und die zur Hagelbildung erforderliche Temperatur-Erniedrigung hervorbringen. Durch Luftfahrten und Bergersteigungen ist die große Kälte der oberen Luftschichten längst erwiesen. So beobachteten Barral und Bixio in der Höhe von 21060 Pariser Fuß die Temperatur von -39° C. Diese Hageltheorie würde daher einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich haben, wenn nur das Herabstürzen der kalten Luft sich genügend erklären ließe.

Mohr glaubt die Ursache dieser Luftbewegung in der Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes gefunden zu haben. Bei 20° C. hat nach Mohr der gesättigte Wasserdampf ein 58224 mal so großes Volumen, als das Wasser, aus welchem er entstanden ist; bei 0° sogar ein 182323 mal so großes ¹⁾. Durch Verdichtung desselben muß daher, wie Mohr meint, eine »ganz ungeheure« Raum-

1) Die Meinung Mohr's, daß die Volumina des gesättigten Wasserdampfes doppelt so groß seyen, als oben angegeben, wenn der Luftdruck nur eine halbe Atmosphäre beträgt, ist offenbar eine irrige.

Verminderung eintreten. Diese »Vacuumbildung« hat eine starke Ansaugung von Luft, namentlich aus den oberen Schichten zur Folge, und die niedrige Temperatur dieser hinzufließenden Luft verursacht eine neue Condensation usw.

Könnte der Dampf sich irgendwo ganz oder zum Theil verdichten *ohne seine latente Wärme abzugeben*, so würde allerdings das Volumen der mit ihm gemischten Luft sich verkleinern in dem Verhältniß des ganzen atmosphärischen Druckes zu dem verschwindenden Dampfdruck. Doch ist diese Volumverminderung nicht bedeutend, weil die Menge des Wasserdampfes sehr gering ist gegen diejenige der atmosphärischen Luft, in welcher er sich befindet. Zudem vergrößert die frei gewordene Verdampfungswärme das Luftvolum beträchtlich. Wir wollen hernach zeigen, daß bei mittlerer Luft-Temperatur diese Volum-Vergrößerung um mehr als das Fünffache jene Verkleinerung übertrifft. Die Mohr'sche Condensations-Theorie ist daher nicht statthaft.

Mit Hülfe des Mariotte'schen Gesetzes und der von Regnault bewiesenen Constanz der specifischen Wärme der Luft (bei constantem Druck) beweisen wir zunächst folgenden Hauptsatz:

Wird einer beliebigen Luftmenge unter constantem Druck eine Wärme-Einheit (Calorie) zugeführt, so dehnt sich die Luft aus und verrichtet dabei die äußere Arbeit von 123,15 Meter-Kilogramm, wie groß auch anfänglich ihr Volumen, ihre Spannung und Temperatur seyn mögen.

In diesem Satze und in allen folgenden Rechnungen sind als Maßeinheiten das Kilogr., der Meter- und der Centesimalgrad angenommen worden.

Sey t die Temperatur, p die Spannung, k das Gewicht und $k v$ das Volumen der gegebenen Luftmenge, so daß v das Volumen der Gewichtseinheit bezeichnet. Dann ist nach Mariotte's und Gay-Lussac's Gesetz:

$$(1) \quad p \cdot k v = k R (a + t),$$

indem $a = 273$ ist und $R = 29,272$. Wird nun bei constantem Druck p die Wärmemenge W gleichmäßig über

jene k Kilogramm. vertheilt, so steigt die Temperatur der Luft, wenn $c = 0,2377$ ihre specifische Wärme bezeichnet, um $\frac{W}{kc}$ Grade. Das neue, dieser höheren Temperatur entsprechende Luftvolum kv_1 ergibt sich nach (1) aus der Gleichung:

$$p \cdot kv_1 = kR \left(a + t + \frac{W}{kc} \right).$$

Subtrahiren wir (1) von dieser Gleichung, so folgt:

$$(2) \quad p \cdot (kv_1 - kv) = \frac{R}{c} \cdot W = 123,15 W.$$

Da nun p den constanten Druck und $kv_1 - kv$ die Volumen-Zunahme der Luftmenge bezeichnet, so ist $p(kv_1 - kv)$ die bei der Ausdehnung verrichtete äußere Arbeit. Dieselbe ist der zugeführten Wärme proportional, und gleich 123,15 Meter-Kilogramm, wie oben behauptet wurde, wenn $W = 1$ ist.

Die einschränkende Bestimmung, daß W *gleichmäßig* über die Luftmenge vertheilt werde, dürfen wir jetzt fallen lassen. Denn nach dem eben Bewiesenen verrichtet jeder Theil der Luftmenge eine äußere Arbeit, welche der ihm zugeführten Wärme proportional ist. Die Arbeit der ganzen Luftmenge ist also wieder $= 123,15 W$, wenn auch die Wärmemenge W ungleichmäßig über sie vertheilt wird, und sogar auch dann, wenn die Lufttheile anfangs ungleiche Temperatur besitzen. Vertheilen wir die Wärmemenge W anfänglich ungleichmäßig, so wird also keine neue Arbeit verrichtet werden können, wenn W sich nachträglich gleichmäßig in der Luftmenge verbreitet: die letztere behält ihr einmal erlangtes Volumen, unabhängig von der Vertheilung ihrer inneren Wärme. Hieraus folgt der Satz:

Wenn beliebige Mengen trockener Luft von gleicher Spannung und ungleicher Temperatur sich mischen, so ändert sich bei der Temperatur-Ausgleichung ihr Gesamt-Volumen nicht.

Dieser Satz kann auch direct aus dem Mariotte'schen Gesetz abgeleitet werden.

Wir können jetzt leicht die Ausdehnung berechnen, welche die Verdichtung einer beliebigen Dampfmenge in der Atmosphäre hervorruft. Eine solche Condensation tritt vielfach ein, wenn zwei mit Wasserdampf gemischte Luftmengen von ungleicher Temperatur einander durchdringen, und namentlich bei der Wolken- und Nebelbildung. Sey beispielsweise 10° C. die Temperatur, bei welcher irgendwo ein Kilogramm Wasserdampf sich verdichtet. Da die Verdampfungswärme dieses Dampfes, welche nach Regnault 599,9 Einheiten beträgt, der umgebenden Luft mitgetheilt wird, so dehnt sich diese aus und verrichtet nach Gleichung (2) die Arbeit:

$$123,15 \cdot 599,9 \text{ oder } 73877,7 \text{ Meter-Kilogramm.}$$

Die Ausdehnung beträgt daher bei der Spannung $p=10336$ Kilogramm. oder bei einer Atmosphäre:

$$\frac{73877,7}{10336} \text{ oder } 7,147 \text{ Cubikmeter.}$$

Sie beträgt $7,147n$ Cubikmeter bei dem Drucke von $\frac{1}{n}$ Atmosphäre. Da aber in diesem Fall das specifische Gewicht der Luft nur den n^{ten} Theil ausmacht von dem bei einer Atmosphäre Spannung ihr zukommenden, so ist offenbar das Gewicht der $7,147n$ Cubikcentimeter unabhängig vom Luftdruck. Nun wiegt nach Regnault ein Cubikcentimeter Luft bei 0° und bei einer Atmosphäre Spannung 1,29319 Kilogramm. Das Gewicht der Luft, welche bei der Condensation von ein Kil. Dampf (von 10°) durch die verursachte Ausdehnung verdrängt wird, ist somit:

$$7,147 \cdot 1,29319 \cdot \frac{273}{288} = 8,916 \text{ Kilogramm.}$$

Auf ähnliche Weise sind in der unten folgenden Tabelle auch die übrigen Zahlen der fünften Spalte berechnet worden.

Die Ausdehnung der Luft ist aber nicht die wirklich eintretende. Sie wird vielmehr vermindert durch die gleichzeitige Contraction, welche bei dem Ausscheiden des Wasserdampfes in Folge der Spannungsverminderung eintritt.

Die Größe dieser Contraction nimmt auch unabhängig von der gleichzeitigen Ausdehnung ein gewisses Interesse in Anspruch. Wenn nämlich von der Erdoberfläche Wasserdampf in die Atmosphäre eindringt, so übernimmt derselbe einen Theil der atmosphärischen Spannung und veranlaßt daher eine Expansion der Luft, welche der bei seiner Ausscheidung eintretenden Contraction gleichkommt. Die folgende Rechnung wird zeigen, daß durch die Contraction etwa 1,62 Kilogramm Luft angesogen werden bei dem Ausscheiden von nur einem Kilogramm Wasserdampf. Die Luft, welche der Wasserdampf bei seinem Aufsteigen verdrängt hat, wiegt also 62 Proc. mehr als der Wasserdampf selbst. Wir erhalten daher folgendes Resultat:

Bei gleicher Temperatur und Spannung ist feuchte Luft specifisch leichter als trockene.

So z. B. zeigt eine leichte Rechnung, die wir aber hier nicht weiter ausführen wollen, daß bei einer Atmosphäre Spannung gesättigte Luft von 20° C. specifisch so schwer ist, wie trockene von 22,6° C. Diese Ergebnisse sind deshalb vielleicht von einigem Interesse, weil ihnen zufolge am Meere Landwinde selbst dann eintreten können, wenn die feuchte Seeluft kälter ist als die trockenere Luft am Lande.

Bei 10° C. ist das Volumen von einem Kilogramm gesättigten Wasserdampfs = 107,79 Cubikmeter, und seine Spannung = 0,01206 Atmosphäre. Wird also in 107,79 Cubikmetern feuchter atmosphärischer Luft ein Kilogramm Wasserdampf bei 10° C. condensirt, jedoch ohne daß der Luft die freigewordene Wärme zugeführt wird, so vermindert sich die Spannung der Luft um 0,01206 Atmosphären oder vielmehr ihr Volumen um:

0,01206 · 107,79 oder 1,300 Cubikmeter, wenn der Luftdruck vor und nach der Condensation eine Atmosphäre beträgt. Die Volum-Verkleinerung ist 1,300 n Cubikmeter, wenn der Luftdruck nur $\frac{1}{n}$ Atmosphäre beträgt.

Immer aber ist das *Gewicht* der bei dieser Contraction angesogenen Luft: .

$$1,300 \cdot 1,29319 \cdot \frac{273}{283} \text{ oder } 1,622 \text{ Kilogramm.}$$

Dieselbe Gröfse hat die Contraction auch dann, wenn aus dem k fachen Luftvolum (von 107,97 k Cubikmeter) ein Kilogramm. Wasserdampf ausscheidet. Denn weil auf den Wasserdampf bei niedrigen Temperaturen das Mariotte'sche Gesetz unbedenklich Anwendung findet, so vermindert sich hierbei die Luftspannung um $\frac{0,01206}{k}$ Atmosphäre innerhalb

jenes Raumes. Die Contraction ist also wieder $\frac{0,01206}{k}$

. 107,99 k oder 1,300 Cubikmeter, wie oben. Ueberhaupt erhalten wir aus der folgenden Tabelle die Contraction für je ein Kilogramm. ausscheidenden Wasserdampfes *dem Volumen nach*, wenn wir irgend einen Werth der zweiten Spalte mit der entsprechenden Zahl aus der vierten Spalte multipliciren. Da aber diese Volumina nur für den Luftdruck von einer Atmosphäre gelten, so haben wir vorgezogen, unter 6 in der Tabelle die entsprechenden *Gewichte* der angesogenen Luft aufzuführen.

Die Condensation versuchs- folgende Volumänderungen

¹ 1 Kilogramm. gesättigten Wasserdampfes.

in atmosph. Luft, ausgedrückt durch das Gewicht der verdrängten oder abgesogenen Luft.

1. Tempe- ratur (Celsius)	2. Volumen (Kub. Met.)	3. Verdampfungs- Wärme (Calorien)	4. Spannung (Atmosphären)	5. Expansion durch Wärme- Entbindung (Kilogramm.)	6. Contraction durch Span- nungs-Verlust (Kilogramm.)	7. Vahre Expansion (5) : (6) (Kilogramm.)	8. Verhältniß der Expansion zur Contraction (5) : (6)
- 10°	447,6	614,1	0,0027	9,82	1,62	8,20	6,05
- 5	300,4	610,5	0,0041	9,58	1,62	7,96	5,91
0	207,4	607,0	0,0060	9,35	1,62	7,73	5,76
+ 5	148,6	603,5	0,0086	9,13	1,62	7,51	5,63
+ 10	107,8	599,9	0,0121	8,92	1,62	7,30	5,50
+ 15	79,12	596,4	0,0167	8,71	1,62	7,09	5,37
+ 20	58,70	592,8	0,0229	8,51	1,62	6,89	5,26
+ 25	44,03	589,3	0,0310	8,32	1,62	6,70	5,14
+ 30	33,37	585,8	0,0415	8,13	1,61	6,52	5,04
+ 35	25,54	582,2	0,0550	7,95	1,61	6,34	4,93
+ 40	19,74	578,7	0,0722	7,76	1,61	6,17	4,84

Die wirkliche Expansion der Luft bei der Verdichtung von einem Kilogr. Wasserdampf ist in der Tabelle unter 7 angegeben, und zwar wieder durch das *Gewicht* der verdrängten Luft. Sie nimmt, wie man sieht, ab mit der Temperatur, und läßt sich für mittlere Temperaturen bis zur ersten Decimale genau darstellen durch den Ausdruck:

$$7,7 - 0,04t \text{ Kilogr.},$$

wenn t die Lufttemperatur bezeichnet, bei der die Condensation vor sich geht. Das *Volumen* der verdrängten Luft wird bis zur dritten Decimale genau dargestellt durch

$$5,972 - 0,0126t \text{ Cubikmeter},$$

wenn der Luftdruck eine Atmosphäre beträgt.

Die Spalte 8 unserer Tabelle bestätigt unsere frühere Behauptung, daß bei der Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes die Contraction der Luft durch Spannungsverlust kaum ein Fünftel beträgt von der Expansion durch die frei gewordene Wärme.

Zum Schluß wollen wir die Zahlen der siebenten Spalte benutzen zur Lösung einer meteorologischen Frage: bis zu welchem Grade nämlich die außergewöhnlichen Schwankungen des Barometers der Condensation und dem Ausscheiden des atmosphärischen Wasserdampfes zugeschrieben werden dürfen. Denken wir uns aus der Atmosphäre eine verticale Säule von einem Quadratmeter Grundfläche ausgesondert. In dieser Säule möge ein Kilogr. Wasserdampf als Regen herabstürzen, so daß die Regenhöhe ein Millimeter beträgt. Die Luft dehnt sich dabei aus, und wenn ihre Temperatur an dem Condensationsorte z. B. 10° beträgt, so entweichen wegen dieser Expansion etwa 7,3 Kilogr. Luft, entweder seitwärts, oder nach oben hin, wo sie an der Gränze der Atmosphäre nach den Seiten abfließen kann. Rechnen wir hierzu den niedergeschlagenen Wasserdampf, so hat das Gewicht der Luftsäule, welches durchschnittlich 10336 Kilogr. beträgt, abgenommen um 8,3 Kilogr. Die durchschnittliche Barometerhöhe von 760^{mm} muß sich also vermindert haben um

$\frac{8,3 \cdot 760}{10336}$ oder 0,61 Millimeter,

also um $\frac{2}{5}$ der Regenhöhe. Das macht auf einen Zoll Regen etwa sieben Linien.

Wir brauchen wohl kaum zu bemerken, daß diese Rechnung nur die obere Gränze angiebt für das durch Wolkenbildung hervorgerufene Sinken des Barometers. Die wirklichen Schwankungen des Quecksilbers werden diese Gränze auch nicht entfernt erreichen. Denn einmal fließt bei der Condensation des Dampfes die verdrängte Luft nicht sofort ab, anderseits wird sie an der Erdoberfläche durch seitlich heranströmende kältere Luft größtentheils ersetzt. Daher schwankt in den Aequinoctial-Gegenden Amerika's trotz der heftigen, wasserreichen Gewitter, die sich täglich bilden, das Barometer gewöhnlich nur um 1 bis 1,3 Linien täglich, und nur einmal beobachtete Humboldt eine Schwankung von zwei Linien. Den sechs Linien Regen, die Humboldt mehr als einmal in einer Stunde hat fallen sehen, würde dagegen nach obiger Rechnung ein beträchtliches Fallen des Barometers, nämlich um 3,5 Linien entsprechen.

Zürich, den 2. März 1863.

*V. Ueber einen Apparat, welcher einen abgeschlossenen Raum auf constanter Temperatur erhält;
von Dr. F. Kohlrausch.*

Es ist mir nicht bekannt, daß eine Vorrichtung wie die folgende, obwohl nahe liegend, ausdrücklich erwähnt ist. Sie kann meiner Meinung nach zu manchen Versuchen brauchbar und bequem seyn, weswegen ich mir erlaube sie kurz zu beschreiben. Veranlassung zu ihrer Construction war das Bedürfnis nach einem kleinen abgeschlossenen Raum, welcher unabhängig von äußeren Einflüssen auf ganz constanter Temperatur bleibt.

Diese Absicht wird durch Heizung des Raumes mit einem galvanischen Strom erreicht, welchen ein Metallthermometer unterbricht, sobald die Temperatur über den verlangten Punkt steigt. Die Einrichtung, so, wie sie mir gute Dienste thut, ist durch Fig. 4 Taf. V in ungefähr halber Gröfse dargestellt. *a* ist der erwärmte Platindraht, welchem der Strom durch den Messinghalter *b* mittelst einer Klemmschraube zugeführt wird. Der Strom geht von da in den Quecksilbernapf *c* und durch einen Metall-Zeiger, welcher an dem unteren Ende der Thermometerspirale befestigt ist und zwei eintauchende Spitzen trägt, in das Quecksilber *d* und zur Batterie zurück.

Der Napf *c* ist in einer kreisförmigen Rinne verstellbar, an deren Rand die Thermometer-Theilung für die Spitze des Zeigers angebracht ist. In dem der Temperatur nach oberen Rande des Gefäßes ist ein Ausschnitt befindlich, durch welchen die Spitze hindurchgeht, aus dem aber das höher stehende Quecksilber der Capillarität wegen nicht ausfließen kann. Hier wird also bei steigender Temperatur der Strom unterbrochen. Um das Amalgamiren der Spitzen und das Anhängen des Quecksilbers zu vermeiden, bestehen diese aus angelötheten Platindrähten. Dafs der Ort der Unterbrechung durch möglichst bewegliches, also reines Quecksilber regelmässiger wird, versteht sich von selbst.

Die beiden Theile (oder auch nach Bedürfnifs das ganze auf einem Stativ) werden mit dem Körper oder Apparat, welcher auf constanter Temperatur erhalten werden soll, in einen Kasten gesetzt, dessen Wände die Wärme schlecht leiten, mit Tuch ausgeschlagen sind, doppelte Flächen haben, oder wie sich am besten die möglichst geringe Abgabe nach aufsen herstellen läfst. Diefs ist ein Hauptpunkt; denn je geringer der Verlust, desto schwächer darf der Strom seyn, um noch eine bestimmte Temperaturerhöhung hervorzubringen. Die beständige Beobachtung, ohne den Apparat öffnen zu müssen, wird leicht durch ein passend angebrachtes (doppeltes) Fenster erreicht.

Mein roh verfertigter Apparat hat eine Spirale aus Zink

und Eisen von nur 9 Windungen von je 9^{mm} Durchmesser: einem Grad Temperaturerhöhung entspricht eine Drehung des 9^{cm} langen Zeigers um 1°. Der Kasten war ziemlich primitiv und das Quecksilber durchaus nicht rein. Dennoch schwankte ein Thermometer mit sehr kleiner Kugel, also jede Veränderung sehr schnell angehend, nur um einige Zehntel Grad, wenn die Gleichgewichtslage einmal erreicht war, z. B. während 5 Stunden nur zwischen 22°,3 und 22°,6 R. Ein sorgfältig construirter Apparat mit einer empfindlichen Spirale kann hiernach ohnstreitig bis auf $\frac{1}{10}$ Grad constant bleiben. Doch wird die Empfindlichkeit besser in einer kräftigen Spirale mit langem Zeiger, als in einer fein ausgerollten Spirale nach Art des Breguet'schen Thermometers gefunden, weil letztere durch die geringste Erschütterung in unangenehme Schwankungen versetzt wird.

Beschränkt ist der Gebrauch dadurch, daß die innere constante Temperatur höher seyn muß als die äußere. Durch einen Strom nachzuhelfen, welcher nach dem Peltier'schen Gesetz in einer Löthstelle von Antimon und Wismuth »Kälte« erzeugt, würde wohl etwas complicirt seyn; doch wäre es nicht unmöglich. Im Allgemeinen aber wird man, etwa bei Versuchen über Elasticität, Wärme, chemische Veränderungen usw. mit der constanten Temperatur überhaupt ausreichen, und anderseits wird die im Winter häufig vorkommende Forderung, daß die Temperatur z. B. einer Lösung nicht unter einen gewissen Punkt sinke, mit dem Apparat sich leicht erzielen lassen, der dann als eine Art von Sicherheitsventil wirkt.

Je nach der verlangten Temperatur-Erhöhung genügt eine schwächere oder stärkere Kette. Das Maximum der Wärmeentwicklung in einem Leiter durch eine gegebene Kette ist proportional der Zahl der Elemente, dem Quadrate der elektromotorischen Kraft des einzelnen Elementes und umgekehrt seinem Widerstande. Es wird, wie sich leicht ergibt, sowohl bei gegebenem Widerstande des Drahtes als bei gegebener Kette erreicht, wenn der innere dem äußeren Widerstande gleich ist. Im zweiten Falle

ist die Aufstellung der Elemente hinter oder neben einander gleichgültig, wenn nur die angegebene Bedingung erfüllt ist.

Sollen Luftströmungen vermieden werden, die ein heftig erwärmter kurzer Draht hervorbringt, so kann man ihn durch einen längern von gleichem Gesamtwiderstande ersetzen, dessen Ort und Vertheilung man im Belieben hat.

Frankfurt a. M., Juni 1865.

**VI. Ueber die Anwendung der Verbindungsspectren zur Entdeckung von Chlor, Brom und Iod in geringster Menge;
von Alexander Mitscherlich.**

Bekanntlich ist es eine der schwierigsten Aufgaben, kleine Quantitäten von Chlor-, Brom- oder Iodverbindungen in einem Gemenge von Haloïdsalzen zu entdecken, und es ist vollständig unmöglich, Spuren dieser Körper in solchen Gemengen durch die bisherigen Methoden nachzuweisen.

Es ist mir gelungen, eine Methode ausfindig zu machen, durch die man leicht Chlor-, Brom- und Iodverbindungen durch den Spectralapparat auffinden und die geringsten Mengen dieser Salzbildner, weniger als ein Milliontel, entdecken kann.

Das Kupfer, das sich vor allen andern Metallen dadurch auszeichnet, daß es Verbindungen mit den Salzbildnern eingeht, die bei höherer Temperatur durch den Einfluß anderer Substanzen sich sehr schwer zersetzen und erst bei der höchsten Temperatur, die wir erzielen können, in ihre Bestandtheile zerlegt werden, eignet sich vorzüglich durch die Spectren dieser Verbindungen zur Erkennung der kleinsten Mengen der Salzbildner.

Ganz anders verhalten sich die meisten anderen Metalle in dieser Hinsicht, wie ich dies in meiner letzten Abhand-

lung über die Spectren ¹⁾ gezeigt habe; wie z. B. die Metalle der Alkalien, die, wenn man sie schon in Flammen von niedriger Temperatur bringt, sich aus ihren Verbindungen ausscheiden, oder die der alkalischen Erden und das Wismuth, die zwar Spectren der Haloidsalze auf Umwegen sehr gut erkennen lassen, aber sich leicht im metallischen Zustand oder als Oxyd abscheiden. Man beobachtet durch das Spectrum, daß sich in der Flamme aus letzteren Verbindungen durch den Einfluß des Sauerstoffs die Oxyde, und durch die hohe Temperatur und die reducirenden Gase die Metalle bilden.

Zur Nachweisung der Salzbildner auf spectralanalytischem Wege ist demnach nur Kupfer zweckmäßig anzuwenden.

Die Untersuchung geschieht nach folgenden Methoden:

Die getrockneten, festen Substanzen werden mit der Hälfte ihres Gewichtes an schwefelsaurem Ammoniak und einem Zehntel Gewichtstheil Kupferoxyd innig gemengt und nach Methode 3 meiner letzten Abhandlung untersucht; d. h. das Gemenge wird in die kugelförmige Erweiterung eines Glasrohres gebracht, welches auf der einen Seite mit einem Wasserstoffapparat nach Rose in Verbindung steht, der einen continuirlichen Strom giebt, auf der andern Seite nahe der Kugel offen ist. Ueber die Masse leitet man das Wasserstoffgas, entzündet es und erhitzt sie langsam. Es färbt sich die Flamme stets anfangs etwas durch eine Oxydationsstufe des Kupfers, bis das Kupferoxyd reducirt ist; man sieht hierbei durch den Spectralapparat eine Helligkeit im Grün, die meist zu unklar ist, um ein bestimmtes Spectrum deutlich erkennen zu lassen; später treten dann sehr deutlich die Spectren der Haloidsalze des Kupfers auf, die nach den Zeichnungen in den Tafeln V und VI des vorigen Jahrganges dieser Zeitschrift leicht zu erkennen sind. Die in diesen Tafeln enthaltenen Abbildungen der Spectren entsprechen in der vorliegenden Ausführung nicht vollständig meinen Wünschen, und ich beabsichtige deshalb

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 121 (1864) S. 459.

in Begleitung einer demnächst zu veröffentlichenden Abhandlung dieselben von Neuem in Farben zu geben.

Bei sehr schwachen Reactionen erkennt man die Chlorverbindung am besten durch die Linien bei 105 und 109 und durch die Helligkeit bei 85 bis 87 der gezeichneten Scale, die Bromverbindung durch die Helligkeiten bei 85, 88 $\frac{1}{2}$ und 92 und das Iodkupfer durch die Helligkeiten bei 96, 99 und 102 $\frac{1}{2}$. Es läßt sich nach dieser Methode ohne weitere Uehung $\frac{1}{4}$ Proc. Chlor, $\frac{1}{2}$ Proc. Brom und 1 Proc. Iod nachweisen; ein geübter Beobachter kann viel kleinere Quantitäten entdecken. Als ein Nachtheil dieser Methode erscheint es indeß, daß das schwefelsaure Ammoniak, welches bei der höheren Temperatur sich zersetzt und das Ammoniak spectrum giebt, die Reaction sehr verdunkelt. Bei mehreren Verbindungen ist ein Zusatz von diesem Salz zur Zersetzung der angewandten Substanzen unnöthig, so beim Chlorsilber, bei den Chlorverbindungen des Quecksilbers u. a. m., bei diesen ist dann die Reaction außerordentlich scharf.

Bei Anwendung von schwefelsaurem Ammoniak lassen sich die Salzbildner, wenn sie in kleineren Quantitäten mit einander gemengt vorkommen, schwer erkennen, so daß, um dieselben in diesem Falle nachzuweisen, die folgende Methode angewendet werden muß:

Man fällt die Salzbildner mit einem Silbersalz, versetzt den getrockneten Niederschlag mit dem doppelten Gewicht Kupferoxyd, mengt die Masse innig und untersucht dieselbe, wie angegeben. Man findet auf diese Weise weniger als $\frac{1}{16}$ Proc. Chlor, $\frac{1}{8}$ Proc. Brom und $\frac{1}{4}$ Proc. Iod in dem durch das Silbersalz entstandenen Niederschlage. Die Spectren treten hierbei nach einander auf, zuerst das des Chlorkupfers, dann das des Bromkupfers und zuletzt das des Iodkupfers. Diese Erscheinung rührt von der verschiedenen Flüchtigkeit dieser Kupfersalze her. Chlorkupfer verflüchtigt sich schon weit unter der Temperatur der Rothgluth, Bromkupfer nahe dieser Temperatur und Iodkupfer bei schwa-

cher Rothgluth. Je langsamer die Verflüchtung vorgenommen wird, desto genauer sind die Resultate der Analyse.

Sind die geringsten Spuren von Iod- und Bromverbindungen bei einem großen Ueberschufs von einer Chlorverbindung vorhanden, so setzt man zur Lösung ungefähr ein Zehntel Gramm salpetersaures Silberoxyd hinzu, läßt den Niederschlag kurze Zeit stehen, und nimmt dann dieselbe Operation, wie oben angegeben, vor. Es ist in diesem Niederschlag die größte Menge des Iods und Broms enthalten, so daß man in ihm leicht diese Körper nachweisen kann.

Um ein Bild von der Genauigkeit dieser Methode zu geben, will ich nur folgende Versuche anführen: Zu einem Pfunde Kochsalz, das kein Brom enthielt, wurden 5 Milligramm Bromnatrium hinzugesetzt, hierzu 1 Decigramm salpetersaures Silberoxyd und, wie angegeben, der Niederschlag behandelt. Nachdem das Spectrum des Chlorkupfers längere Zeit beobachtet war, konnte man fünf Minuten lang das Spectrum des Bromkupfers deutlich erkennen. Zu der Kochsalzlösung wurde von Neuem 1 Decigramm salpetersaures Silberoxyd gesetzt und das Gemenge ebenso untersucht. Sechs Minuten lang konnte man die Reaction beobachten.

Entsprechende Versuche wurden mit Iodverbindungen angestellt; die Reactionen erfolgten hierbei mit derselben Schärfe. Da eine Zehntel Minute zur Erkennung des Spectrums hinreichend ist, die Reaction aber über zehn Minuten dauerte, da durch dieselbe ein Hunderttausendtel nachgewiesen wurde, läßt sich somit ein Zehnmilliontel Iod oder Brom im Chlornatrium entdecken.

Man kann hieraus ersehen, daß diese Erkennungsmethode fast unbegrenzt ist, wenn nur genug des zu untersuchenden Körpers vorhanden ist.

In $6\frac{1}{2}$ Pfund Meerwasser, das ich der Güte des Hrn. A. Lazard in Minden verdanke, der es selbst in der Nähe von Helgoland geschöpft hat, ließ sich 7 Minuten lang die Reaction auf Brom beobachten. Iod konnte ich nicht nach-

weisen, da wahrscheinlich die Menge des angewandten Wassers zu gering war.

Im Wasser des todtten Meeres, von dem mir ebenfalls nur geringe Quantitäten zu Gebote standen, fand ich grössere Mengen von Brom, aber auch kein Iod.

In einer geringen Menge Mutterlauge von der Kochsalzbereitung aus Salzsolen, habe ich verhältnissmässig grosse Mengen von Brom und kein Iod gefunden.

Hat man organische Substanzen auf Salzbildner zu untersuchen, so geschieht dies in einer Röhre mit 2 Kugeln, die mit dem Wasserstoffapparat in Verbindung steht. In der der Flamme zunächst gelegenen Kugel wird das Kupferoxyd erhitzt, und über das durch den Wasserstoff nun reducirte Oxyd werden die Producte der erhitzten organischen Substanz, die sich in der anderen Kugel befindet, geleitet; man kann auf diese Weise die geringste Menge von Chlor, Brom und Iod entdecken, und zwar auch Spuren des einen Salzbildners bei grossem Ueberschuss der anderen.

Es würde von grosser Wichtigkeit seyn, eine gute Methode aufzufinden zur Bestimmung der Quantität der Salzbildner in ihren Gemengen, da die bisherigen viel zu wünschen übrig lassen. Es liegt deshalb nahe zu versuchen, ob sich quantitativ die Mengen der Salzbildner annähernd durch das Spectrum ermitteln lassen. Ich leitete zu diesem Zweck durch gleich stark erhitzte, gleich grosse mit der Substanz gefüllte Kugelhöhen mit gleicher Oeffnung von der oben angegebenen Form einen gleich starken Strom von Wasserstoff, und konnte die Quantität sowohl eines Salzbildners, als auch eines Gemenges von mehreren allerdings durch die Zeit der Verdampfung ihrer Kupferverbindungen ungefähr bestimmen, da zuerst das Chlor-, dann das Brom- und zuletzt das Iodkupfer so verdampfte, dass man den Uebergang aus dem einen Spectrum in das andere deutlich beobachten konnte. Aber die kaum zu vermeidenden grossen Fehlerquellen machen die Operation so schwierig, dass sie als analytische Methode keine Anwendung finden wird.

Als Resultat der angeführten Untersuchungen ergibt sich Folgendes: Eine quantitative Bestimmung der Salzbildner durch das Spectrum ist nicht wohl ausführbar, die qualitative Analyse derselben, die bei ihren Gemengen von besonderem Werthe ist, läßt sich dagegen mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit vornehmen; diese Untersuchungsmethode übertrifft bei weitem alle bisher hierzu angewandten an Genauigkeit und kann den allerschärfsten analytischen Methoden an die Seite gestellt werden.

Als vorläufige Notiz erlaube ich mir Folgendes anzufügen.

Bei der Verfolgung der in meiner oben erwähnten Abhandlung¹⁾ veröffentlichten Thatsachen, betreffend die Beziehungen der Spectren zu den Atomgewichten, habe ich gefunden, daß sich derartige Beziehungen außer bei den dort angeführten Salzen auch bei andren Verbindungen auffinden lassen, und ferner, daß dieselben auch zwischen den Atomgewichten und Spectren *der meisten Metalloide* bestehen.

Schon in meiner letzten Abhandlung sprach ich auf Grund der verschiedenartigen Spectren des Iods und des analogen Verhaltens dieser Spectren mit denen der Metalle und ihrer Verbindungen die Ansicht aus, daß Iod ein zusammengesetzter Körper sey, und glaubte folgern zu dürfen, daß sich wie Iod auch einige andere Metalloide verhielten. Durch weitere Untersuchungen habe ich solche verschiedenartigen Spectren bei fast allen Metalloiden gefunden, und muß diese somit ebenfalls als *zusammengesetzte Körper* betrachten.

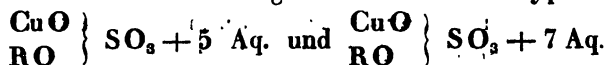
Die Experimente, welche diese Auffassung begründen, werde ich demnächst mit den anderen Resultaten meiner Untersuchungen mittheilen.

Berlin, Juli 1865.

1) Pogg. Ann. Bd. 121 (1864) S. 459.

**VII. Ueber eine Reihe von Verbindungen der Vitriole in bestimmten Aequivalentverhältnissen;
von Carl Ritter von Hauer.**

Aus den von Mitscherlich und Rammelsberg angestellten Beobachtungen über die Krystallisationsverhältnisse gemischter Lösungen von Kupfervitriol mit anderen schwefelsauren Salzen der Magnesiagruppe geht hervor, daß es zwei Reihen von Salzen giebt die nach den Typen:



zusammengesetzt sind, worin $\text{RO} = \text{MgO}$ oder ZnO , FeO MnO ist. Die einzelnen Glieder der ersten Reihe zeigen die Krystallform der Kupfervitriole, die der zweiten jene des Eisenvitriols. Das quantitative Verhältniß von $\text{CuO}:\text{RO}$ ist wohl in beiden Salzreihen ein mannigfach wechselndes, doch aber ist durch Rammelsberg, der speciell die Verhältnisse näher prüfte¹⁾, dargethan worden, daß in allen Salzen der ersten Reihe das Kupferoxyd stets bedeutend im Ueberschuß vorhanden war. Die Krystallisationsverhältnisse dieser Gemische sind daher nicht völlig analog jenen, welche bei Mischungen wirklich isomorpher Verbindungen stattfinden; das Vorwalten des einen Bestandtheils in der gemischten Lösung wirkt bestimmend auf die Hydratbildung der anderen, wodurch sie erst isomorph werden. Der in der Lösung überschüssig vorhandene Bestandtheil waltet darnach auch in den sich daraus absetzenden Krystallen vor, und es ist hierdurch, für je einen Typus der beiden Salzreihen, den Mengungsverhältnissen der einzelnen Salze eine Gränze gegeben, die bei eigentlich isomorphen Verbindungen nicht existirt, ausgenommen es wäre eine solche durch ihre allzu differirende Löslichkeit bedingt.

Diese Betrachtungen legen die Vermuthung nahe, daß in den Gliedern dieser beiden Salzreihen dennoch bestimmte

1) Pogg. Annal. Bd. 91, S. 321.

Aequivalentverhältnisse eine Rolle spielen möchten. Die zwei Reihen von Verbindungen mit 5 und 7 Aequivalenten Wasser zerfielen darnach je in mehrere Reihen, deren Glieder eine ähnliche aber wohl nicht absolut gleiche Krystallgestalt besitzen dürften. Ohne diese Supposition hier vorläufig weiter zu verfolgen, möge angeführt werden, daß ich eine Anzahl hierher gehöriger Verbindungen erhielt, deren Zusammensetzung in der That einem einfachen und constanten Aequivalentverhältnisse entspricht.

Gelegentlich der Darstellung von Verbindungen des Kupfervitriols mit schwefelsaurem Kobalt- oder Nickeloxyd, über welche in der Arbeit von Rammelsberg nichts erwähnt wird, zeigte sich, daß derlei Gemische beim Krystallisiren ein Verhalten zeigen, das mit dem früher erwähnten nicht übereinstimmt. Es setzen sich nämlich aus solchen Lösungen, unbeschadet des vorhandenen Mischungsverhältnisses, stets Krystalle von ein und derselben Gestalt und Zusammensetzung ab. War nämlich Kupfervitriol in der Lösung im Ueberschusse vorhanden, so krystallisirte so lange davon in isolirtem Zustande heraus, bis jenes Aequivalentverhältniß in der Lösung hergestellt war. Wenn dagegen eines der leichter löslichen Salze von schwefelsaurem Kobalt- oder Nickeloxyd in der Lösung vorwaltete, so blieb der Ueberschuß in der Mutterlauge, und die in Rede stehenden Verbindungen setzten sich unmittelbar ab.

Die Krystalle, welche nun beim Verdunsten solcher Lösungen entstehen, enthalten 1 Aequivalent Kupferoxyd, 2 Aequivalente Kobalt- oder Nickeloxyd und 21 Aequivalente Wasser. Der Gestalt nach gehören sie aber dem triklinischen Systeme an und sind jener des Kupfervitriols sehr ähnlich, was vermöge ihres Wassergehaltes mit den bisher an anderen ähnlichen Verbindungen gemachten Beobachtungen nicht übereinstimmt¹⁾.

1) Ich hatte solche Krystalle schon vor längerer Zeit zu wiederholten Malen erhalten, und es befinden sich sehr schöne Exemplare davon in jener großen Krystallsammlung, die ich für die letzte Ausstellung in London übersandte und nachher dem britischen Museum schenkte. Wegen der großen

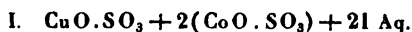
Weitere Versuche zeigten, daß das schwefelsaure Kupferoxyd ganz analoge Verbindungen auch mit den Sulphaten von Magnesia, Zinkoxyd und Eisenoxydul bildet. Es existirt somit eine dritte Reihe von Verbindungen des Kupfervitriols mit anderen Vitriolen, deren Zusammensetzung der Formel;



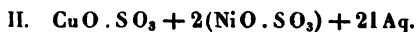
entspricht, die sich insbesondere dadurch als eine eigenthümliche charakterisirt, daß ihre Glieder im triklinischen Systeme krystallisiren.

Man erhält diese Verbindungen, wenn eine gesättigte Kupfervitriollösung bei gewöhnlicher Temperatur mit so viel von dem krystallisirten zweiten schwefelsauren Salze versetzt wird, als sie davon aufzunehmen vermag, und die erhaltene Lösung der freiwilligen Verdunstung überlassen wird. Die entstehenden Krystalle lassen sich leicht zu bedeutender Gröfse aufziehen. Für die analytische Untersuchung diente nur je ein Krystallindividuum.

Die nach der angeführten Formel berechneten und gefundenen Werthe sind für die einzelnen Salze folgende:



CuO	39,7	9,37	8,79
2 CuO	75	17,70	17,85
3 SO ₃	120	28,32	28,33
21 HO	189	44,60	—



CuO	39,7	9,36	9,00
2 NiO	75,2	17,74	18,20
3 SO ₃	120	28,30	28,34
21 HO	189	44,59	—

Aehnlichkeit der Gestalt mit dem Kupfervitriol schien es unzweifelhaft, daß sie nach dem Typus der gemischten Salze mit 5 Aequivalenten Wasser zusammengesetzt seyn müßten, was aber, wie nun die analytische Untersuchung zeigte, nicht der Fall ist.

$$\text{III. CuO} \cdot \text{SO}_3 + 2(\text{MgO} \cdot \text{SO}_3) + 21 \text{Aq.}$$

CuO	39,7	10,21	—
2MgO	40	10,29	10,40
3SO ₃	120	30,87	30,92
21HO	189	48,62	—

$$\text{IV. CuO} \cdot \text{SO}_3 + 2(\text{ZnO} \cdot \text{SO}_3) + 21 \text{Aq.}$$

CuO	39,7	9,23	9,44
2ZnO	81,2	18,89	—
3SO ₃	120	27,91	28,18
21HO	189	43,96	43,95

$$\text{V. CuO} \cdot \text{SO}_3 + 2(\text{FeO} \cdot \text{SO}_3) + 21 \text{HO.}$$

CuO	39,7	9,43	—
2FeO	72	17,11	15,61
3SO ₃	120	28,52	28,50
21HO	189	44,92	—

Das Nickelsalz verwittert rasch und auch das Eisensalz verändert sich an der Luft, die übrigen Salze sind luftbeständig.

Hr. A. Brezina war so gütig im Hofmineraliencabinete eine krystallographische Bestimmung des Kobalt- und Nickelsalzes auszuführen, und theilte mir Folgendes darüber mit:

»Die Krystallformen beider Salze sind vollkommen gleich. Das Krystallsystem ist triklinisch.«

Die gewöhnliche Form in der diese Verbindungen vorkommen ist Fig. 1 eine Combination von (100) — *r*, (010) — *n* und (101) 0. Untergeordnet treten, noch kleine Abstumpungsflächen an den Ecken 010, 101, $\bar{1}00$ — 101, $\bar{1}00$, $0\bar{1}0$ — 100, $0\bar{1}0$, $10\bar{1}$ auf.

Die Flächen von *n*, *r*, *o*, sind die analogen vom Kupfervitriol. Die nachfolgenden Messungen beziehen sich auf die Neigungen der drei herrschenden Flächen. In der zweiten Columnne sind die analogen Winkelwerthe des Kupfervitriols nach Miller angegeben.

$r(100):n(010)$	=	79° 15'	79° 19'
$r(100):o(101)$	=	83°	85° 14'
$n(010):o(101)$	=	100°	105° 33'

Der Winkel rn ist der einzige genau meßbare, die übrigen sind nur auf einige Grade genau bestimmbar. Es sind demnach die beiden Salze isomorph mit dem Kupfervitriol. Fig. 2 giebt noch eine Projection der gewöhnlichen Form.«

Fig. 1.

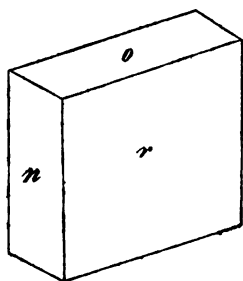
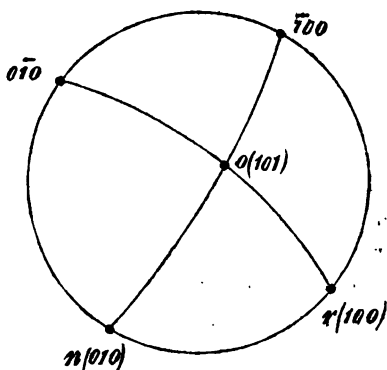


Fig. 2.



Die Isomorphie dieser beiden Salze mit den anderen, welche hier aufgeführt werden, liefs sich auf eine sehr praktische Art beweisen, da sämtliche Salze nicht nur in variablen Verhältnissen gemischt mit einander krystallisiren, sondern auch Krystalle des Kobaltsalzes, welches das am wenigsten lösliche in dieser Reihe ist, in gesättigten Lösungen des Magnesia-, Zink- und Eisensalzes fortwachsen.

Aus der krystallographischen Bestimmung geht hervor, dafs eine grofse Aehnlichkeit der Gestalt mit jener des Kupfervitriols besteht, von einer Isomorphie im eigentlichen Sinne kann aber nicht die Rede seyn. Erscheinungen des Episomorphismus treten an Krystallen von Kupfervitriol, wenn sie in Lösungen dieser Salze gebracht werden, auch nicht auf. Die Aehnlichkeit ihrer Gestalt mit Kupfervitriol deutet daher auf keine Relation mit letzterem, sondern es sind diese Verbindungen selbstständige Doppelsalze.

VIII. *Beitrag zur Erklärung der Windstöße;*
 von *Dr. Th. Reishaus,*
 Gymnasial-Lehrer in Stralsund.

An einem schönen Augustnachmittage des vorigen Jahres saß ich auf einer der zahlreichen kleinen Uferhöhen, welche den Streitzig, einen See bei der Stadt Neustettin, umgeben. Ein Begleiter saß neben mir und unsere Blicke ruhten auf dem glatten Spiegel des Wassers, den nur das Aufspringen der Fische aus der Tiefe bisweilen kräuselte. Am jenseitigen Ufer lag der dunkle Buchen- und Fichtenwald und über ihm stand die Sonne, heute die unbeschränkte Herrscherin des Tages; denn kein Lüftchen regte sich, um ihr die Herrschaft streitig zu machen. Plötzlich erschien in unserer Nähe ein leichtes Gekräusel des Wassers am Fulße eines Uferhügels, der dem unserigen zunächst lag, und dessen Abdachung nach dem Wasser zu fast senkrecht von den Strahlen der Sonne getroffen wurde. Das übrige Wasser blieb spiegelglatt. Ich machte meinen Begleiter auf die eigenthümliche Form des Umfangs der gekräuselten Fläche aufmerksam, welche offenbar von der Fläche des Abhanges abhängig war. Nach fünf Minuten war die Kräuselung verschwunden und der Spiegel wieder hergestellt. Ich sprach die Erwartung aus, daß an derselben Stelle bald wieder ein Gekräusel sich zeigen würde, und forderte meinen Begleiter auf, deshalb noch ein Wenig zu verweilen. In der That, nach etwa zehn Minuten war das Gekräusel wieder da und in derselben Form, wie vorher. Nachdem auch dieß wieder verschwunden, brachen wir auf und setzten unseren Spaziergang nach dem Walde fort. Mein wißbegieriger Begleiter aber fragte mich, wie ich das hätte denken können, daß die Erscheinung wiederkehren würde. Ich erklärte ihm, daß nach meiner Vermuthung die senkrechten Strahlen der Sonne den Hügelabhang ganz besonders erwärmten, der seine Wärme wieder der auf ihn ruhenden

Luftschicht mittheilte, so daß diese sich ausdehnte, und als leichtere Luft in die Höhe stiege, vom Wasser aber kältere Luft nachdränge und die Bewegung der letzteren die Kräuselung des Wassers verursachte. Die Sache selbst schien mir so einfach und als wissenschaftlicher Beitrag zu winzig, als daß ich damals diese Erscheinung hätte veröffentlichen mögen. Heute indessen, als der heftige Westwind, den wir nach der langen Hitze des Juli bekommen haben, so stoßweise in's Land hineinfegte, und ich mich nach der Ursache der Stöße fragte, fiel mir die oben beschriebene Erscheinung wieder ein und schien mir über den Gegenstand meiner Frage einiges Licht zu verbreiten. Recht viele Winde, ich weiß es nicht, ob alle, gehen stoßweise über das Land, d. h. es findet Abwechselung statt zwischen stärkerer und geringerer Geschwindigkeit, bisweilen in schnellerer Aufeinanderfolge, bisweilen in langsamer. Ganz besonders aufgefallen ist mir, daß bei den November- und Decemberstürmen, welche mit furchtbarer Gewalt durch die Straßen flattern; dann aber gleichsam um zu neuem Stosse Athem zu schöpfen, eine Pause machen, und alsbald wieder losbrechen. Eine ähnliche Erscheinung ist auch die, welche wir an unseren Oefen beobachten: durch die Heizthür tritt die Luft nicht in continuirlichem Zuge, sondern stoßweise; die Stöße sind dabei um so heftiger und die zwischenliegenden Pausen um so größer, je näher das Feuer dem Zugloch in der Heizthür ist.

Meine Beobachtung am Streitzig zeigte nun, daß erst eine Zeit der Ruhe vorübergehen mußte, ehe die Luft über dem Abhange erwärmt und ausgedehnt genug war, um in die Höhe zu steigen und der kälteren Luft über dem Wasser das Eindringen zu gestatten. Die letztere mußte dann wieder eine Ruhezeit der Erwärmung und Ausdehnung durchmachen und so entstanden die periodischen Windstöße. Auch die Erscheinung am Ofen, welche ich erwähnt habe, läßt sich auf ähnliche Weise erklären, die kalte Luft, die aus dem Zimmer in den Heizraum des Ofens strömt, muß dort erst erwärmt werden, ehe sie ihren Abzug durch

durch die Züge in den Schornstein nimmt. Ist das Feuer weiter von dem Zugloch der Heizthür entfernt, so findet diese Erwärmung allmählich statt, und der Zug wird dann fast ein continuirlicher.

Es wird gerechtfertigt seyn von diesen Erscheinungen im Kleinen auf die großen Bewegungen der Atmosphäre zu schliessen, da hier wie dort die Luftströmung im Allgemeinen die Folge von Temperatur-Unterschieden ist. Die Erscheinung der *Fata Morgana*, welche eine ruhende, aufgelockerte Luftschicht über dem Boden voraussetzt, liefert den Beweis, daß unter den Tropen die wärmere Luft, obgleich sie leichter ist, dennoch eine Zeit lang zögert, ehe sie sich vom Boden erhebt und in die Höhe steigt. Noch sprechender ist die Region der Calmen mit ihren gewaltigen Windstößen, welche von Zeit zu Zeit die schwüle Ruhe unterbrechen.

Wir gewinnen aus den angeführten Thatsachen die Vorstellung, daß die Luft, welche auf dem erwärmten Boden liegt, eine Zeit der Ruhe bedarf, in der sie sich erwärmen und ausdehnen läßt. Schließlich weicht sie dem größeren Druck der kälteren Seitenluft, steigt in die Höhe und an ihre Stelle tritt die kältere Luft von der Seite, und derselbe Vorgang wiederholt sich. Die Zeit der Ruhe wird um so größer seyn, je größer die Fläche ist, auf welcher die Luftschicht ruht und erwärmt wird, da das Eindringen der kälteren Luft von den Rändern her geschieht und deshalb die Luft im Innern um so später veranlaßt wird, vor der schwereren Seitenluft in die Höhe zu entweichen, je größer die Fläche ist. Sie wird aber dann mit um so größerer Masse aufsteigen und das Nachströmen der kalten Luft wird dann um so gewaltiger seyn, wie die Gewitterstürme in der Region der Calmen zeigen.

In der Mitte des Sommers erwärmt die Sonne die Continentalmassen von Europa und Asien; aber es vergeht oft wie in diesem Jahre und im Jahre 1858, lange Zeit, ehe der seitliche Wind einzudringen vermag in äußerst aufgelockerte Luft. Mir ist unbekannt, ob schon Beobachtun-

gen gemacht sind über die Art und Weise, wie der westliche Wind in den Continent eindringt. Hr. Dove giebt in seiner Erklärung der Ueberschwemmungen im Harze und im Riesengebirge im Jahre 1858 ¹⁾ nur an, daß allgemein im nördlichen Deutschland NW. geweht habe. Es scheint indessen so, als ob der kalte W. oder NW. sich jede Strecke Landes erkämpfen müsse. Bei jedem Vordringen erfährt er zunächst eine Erwärmung, büßt dabei seine Geschwindigkeit ein, und staut die nachdringende Luft an, und aus dieser schrittweisen Erwärmung und Stauung entstehen die Windstöße, in denen der westliche Wind jetzt erobernd über Europa hereingebrochen ist. Vermuthlich findet aber außer diesen schnell auf einander folgenden Stößen in dem Gange des Windes noch eine Priodicität des Windes von langen Intervallen statt, dadurch hervorgerufen, daß der immer weiter vordringende W. so sehr erwärmt und aufgelockert wird, daß er selbst zu einem Theile der continentalen Luftmasse wird und dadurch eine grofsartige Stauung der nachdringenden Seeluft veranlafst. Eine Bemerkung des Hrn. Dove in der angeführten Abhandlung über die nach den deutschen Ueberschwemmungen eingetretenen in Ungarn und der Turkey scheint darauf hinzudeuten.

Ob indessen die Erscheinung des stofsweisen Fortschreitens der Winde ganz allgemein auf die obige Weise zu erklären sey, muß ich dahingestellt seyn lassen; es läfst sich vermuthen, daß der Zusammenhang der Erscheinung bei den Novemberstürmen ein complicirter ist.

Mögen die Meister diesen Beitrag eines Liebhabers der Witterungskunde fürlieb nehmen.

Stralsund, den 29. Juli 1865.

1) Pogg. Ann. Bd. 105, S. 490.

IX. Statistik der Blitzschläge.

Nach Hrn. Boudin (*Cosmos*, 1865, Vol. II, p. 29) sind in Frankreich innerhalb der Jahre 1835 bis 1863 vom Blitz unmittelbar getödtet: 2238 Personen, jährlich im Maximo 111, im Minimo 48; doppelt so viel wurden verletzt. Unter 880, die von 1854 bis 1863 erschlagen wurden, waren 243 oder 26,7 Proc. weiblichen Geschlechts; auch wo der Blitz auf Menschengruppen beiderlei Geschlechts einschlug, tödtete er vorzugsweise die Personen des männlichen. Bei Viehheerden blieben die Hirten häufig verschont. Es giebt Fälle, wo Menschen mehrmals vom Blitz getroffen wurden; einer wurde innerhalb 15 Jahren 2 Mal am linken Fuß verletzt, ein anderer in drei verschiedenen Wohnungen 3 Mal vom Blitz getroffen. Ungefähr ein Viertel der vom Blitz Getroffenen oder Erschlagenen hatte Schutz unter Bäumen gesucht. Selbst Buchen bleiben nicht immer von Blitzschlägen verschont, wie Maxwell glaubt.

X. Magnesiumlicht.

Zufolge der Angabe des Hrn. Troost, Prof. d. Chemie am Lycée Bonaparte, entwickelt ein Magnesiumdraht von 97^{mm} Länge und 0^{mm},33 Dicke bei seiner Verbrennung so viel Licht als 64 Kerzen und diese Intensität steigt auf 110, wenn die Verbrennung in Sauerstoff geschieht. Er erwähnt auch noch, daß man, nach Hrn. Leroux's Entdeckung, ein ebenso intensives und zugleich viel wohlfeileres Licht erhält, wenn man statt des reinen Magnesiums eine Magnesium-Zink-Legirung verbrennt (*Cosmos*, 1865, Vol. I, p. 533).



५५५.

XIXI-

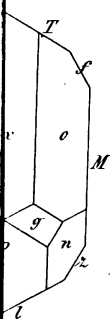
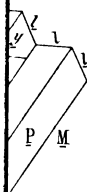
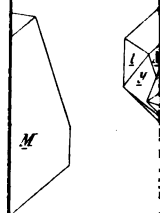
2.

3/4

c



27



Wagenn



